Д.И. Гаклин, Л.М. Кононович, В.Т. Корольков

Стереофоническое радиовещание и звукозапись

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

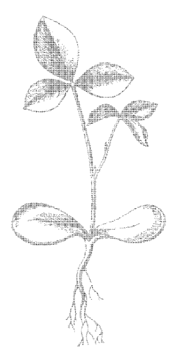


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 436

Д. И. ГАКЛИН, Л. М. КОНОНОВИЧ, В. Г. КОРОЛЬКОВ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ И ЗВУКОЗАПИСЬ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются принципы осуществления стереофонических радиопередач и стереофонической звукозаписи на магнитную ленту. Описывается используемая при этом аппаратура, а также приставка к радиоприемнику, позволяющая производить прием стереофонических радиопередач.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, как профессионалов, занимающихся различными вопросами стереофонического радиовещания и звукозаписи, так и радиолюбителей, интересующихся стереофоническим звуковоспроизведением в домашних условиях.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Восприятие человеком расположения источников звука исследовалось еще в конце прошлого века. В 30-х годах нашего века был поднят вопрос о неполноценности одноканальной (монофонической) звукопередачи. В эти же годы были созданы первые устройства, позволяющие продемонстрировать существенные преимущества стереофонического звучания перед монофоническим. Такие демонстрации проводились в 1934—1935 гг. Г. Флетчером и Л. Стоковским в США и И. Е. Гороном в Советском Союзе. И. Е. Горон продемонстрировал на сцене Октябрьского зала Дома Союзов в Москве трехканальную стереофоническую систему, состоящую из громкоговорителей, связанных через усилители и линии связи с микрофонами, установленными на сцене Колонного зала Дома Союзов, где был размещен оркестр. Качество стереофонического звучания оркестра в Октябрьском зале было настолько высоким, что создавалось полное впечатление присутствия в нем самого оркестра, а не системы громкоговорителей.

Примерно к этому же времени относится первая попытка использования стереофонического звучания в звуковом кино (работы Б. Н. Коноплева, М. З. Высоцкого, Б. Н. Можжевелова, Н. С. Куприянова и др.).

С появлением магнитной записи звука начались работы по осуществлению стереофонической записи его на магнитной ленте путем использования одновременно нескольких звуковых дорожек. В 1947 г. Н. С. Куприяновым на конференции Ленинградского отделения научно-технического общества им. А. С. Попова была продемонстрирована аппаратура двухканальной стереофонической записи и воспроизведения звука. В первой половине 1948 г. И. Е. Горон демонстрировал трехканальные записи на 35-*мм* магнитной ленте.

Преимущества стереофонического звучания перед обычным, монофоническим, оказались настолько очевид-

ными, что в последующие годы широко развернулись работы по созданию дешевых устройств стереофонического воспроизведения звука, доступных широкому потребителю. В результате этих работ были созданы стереофонические граммофонные пластинки и стереофонические магнитофоны домашнего пользования.

Работы по стереофоническому радиовещанию были начаты Н. С. Куприяновым еще в 1949 г. Проведенные им в 1955 г. опыты стереофонических радиопередач в Ленинграде оказались успешными. Однако эти работы существенно опередили общий уровень развития радиовещания и не нашли в тот период практического применения. Они были возобновлены в Советском Союзе в 1958 г. на новой технической основе. В результате этих работ Научно-исследовательским институтом радиовещательного приема и акустики им. А. С. Попова (ИРПА) была создана система стереофонического радиовещания с полярной модуляцией. Московским экспериментальным заводом Государственного комитета радиовещания и телевидения были созданы модели студийных стереофонических магнитофонов, а Государственным домом радиовещания и звукозаписи освоено производство высококачественных стереофонических магнитных записей. В это же время были разработаны стереофонические акустические системы для домашнего пользования.

Первая официальная стереофоническая радиопередача по системе с полярной модуляцией состоялась 6-го января 1960 г. в Ленинграде. Передачу слушало около 100 чел. Качество передачи было высоко оценено слушателями. В июне того же года было начато регулярное опытное стереофоническое радиовещание в Москве и Ленинграде, а позднее в Киеве и Таллине.

Сейчас не вызывает сомнений, что как в Советском Союзе, так и за рубежом в недалеком будущем стереофоническое радиовещание станет обычным видом музыкального вещания, а стереофонический радиоприемник и радиола — доступной аппаратурой для массового потребителя.

В книге рассматривается круг вопросов, связанных с осуществлением стереофонического радиовещания и двухканальной стереофонической звукозаписи на магнитную ленту.

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ПРИНЦИПЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ

1. МОНОФОНИЧЕСКАЯ ЗВУКОПЕРЕДАЧА

В повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с передачей звука на расстояние, превышающее обычные пределы распространения звуковых волн. Разговор по телефону, радиопередачи, звуковое сопровождение телевидения являются примерами этого. Передача звука может быть двухсторонней, когда звук передается не только к нам, но и от нас (например, в случае разговора по телефону), и односторонней — как при радиовещании, когда звук передается только к радиослушателям. Иногда передача звука к слушателям может задерживаться на произвольное время, с этим мы встречаемся при любом виде звукозаписи. Но и в этом последнем случае мы имеем дело со звукопередачей. Техника звукопередачи развилась как побочная отрасль радиотехники и телефонии, используя из них методы преобразования звуковых колебаний в электрические и обратно и методы повышения мощности и преобразования формы электрических колебаний с помощью электронных ламп или полупроводниковых приборов.

Блок-схема односторонней звукопередачи показана на рис. 1. Передаваемые звуковые колебания преобразуются микрофоном *1* в электрические колебания той же формы. Далее мощность их повышается усилителем *2* и в блоке *3* они преобразуются в ту форму колебаний, на передачу которых рассчитана линия связи *4*. Блок *5* на приемном конце линии связи вновь преобразует полученные колебания в электрические звуковой частоты, которые усиливаются усилителем *6* и преобразуются помощью телефонных трубок или громкоговорителя *8* в зву-

ковые колебания, аналогичные исходным. Кроме перечисленных элементов, может быть включено устройство записи — воспроизведения *7* для задержки и консервации передаваемого звука.

Рассмотренная блок-схема является наиболее общей. Ей отвечают все практические случаи звукопередач. В качестве линии связи может использоваться как проводная, так и беспроводная. Преобразователи *3* и *5* могут быть различного вида, например, радиопередатчик и радиоприемник. Существуют и такие виды звукопередачи, при которых необязательно наличие всех элементов рассмотренной блок-схемы. Самым простым является тракт звукопередачи, состоящий из микрофона, проводной линии связи и телефона.

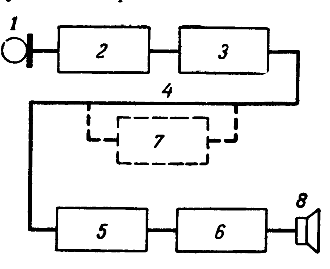


Рис 1. Блок-схема тракта звукопередачи.

В настоящее время техника звукопередачи достигла большого совершенства. Пользуясь ею, можно передать полосу частот в диапазоне 20—20 000 *гц* и динамические уровни в диапазоне до 60 *дб* при незначительных частотных и нелинейных искажениях. И все же, несмотря на это, звукопередача, осуществляемая по каналу связи, изображенному на рис. 1, не обеспечивает натурального звуковоспроизведения в месте приема. Причина состоит в том, что в естественных условиях мы обычно слушаем не один, а многие источники звуков, размещенные в пространстве. Человек с нормальным слухом легко распознает направления, по которым приходят звуки от отдельных источников, и у него создается впечатление пространственного звукового поля.

При рассмотренной звукопередаче звук от всех источников, независимо от их расположения относительно микрофона, будет приходить к слушателю из одного места, где находится громкоговоритель. Звук теряет при этом пространственную перспективу, что и делает его ненатуральным, несмотря на высокие качественные показатели тракта звукопередачи. Не поможет и увеличение числа микрофонов и громкоговорителей, так как это хотя и

даст расширение фронта излучения звука, но он будет по-прежнему ненатуральным, так как все громкоговорители будут воспроизводить один и тот же звук.

Рассмотренная звукопередача носит название **монофонической** по той причине, что при ней передается только одна (моно) звуковая информация по одному единственному каналу связи. Как будет видно далее, это ограничение и является неизбежной причиной возникающих искажений.

2. НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО СЛУХА

Для того чтобы понять работу другой системы звукопередачи, более совершенной, чем монофоническая, необходимо предварительно вкратце познакомиться с теми свойствами человеческого слуха, благодаря которым мы ощущаем месторасположение источника звука.

Наши слуховые органы устроены так, что положение источника звука определяется ими в результате оценки его полярных координат. Для этого слушатель должен, очевидно, обладать способностью определять направление прихода звука в горизонтальной и вертикальной плоскостях и оценивать расстояние до источника звука. Наиболее точно человек локализует направление в горизонтальной плоскости. Достигается это благодаря так называемому бинауральному эффекту или, другими словами, слушанию двумя ушами. Звуки от одного и того же источника приходят обычно неодинаковыми к правому и левому уху, так как одно ухо ближе к источнику, чем другое.

Звуки могут отличаться по интенсивности, времени прихода и фазе колебаний. Эти различия приводят к возникновению в центральной нервной системе психофизиологического суждения о направлении прихода звука. Люди, которые по каким-либо причинам слышат только одним ухом, лишены возможности определять расположение или, как говорят, локализовать источник звука.

Точность локализации направления в горизонтальной плоскости зависит от частоты колебаний источника звука. Для звуков с частотой ниже 300 *гц* определить направление прихода звука практически трудно. При этих частотах длина звуковых волн велика и они, свободно огибая голову, создают почти одинаковые звуковые дав-

ления около правого и левого уха, а время запаздывания звуковых волн по отношению к периоду колебания и сдвиг фаз очень малы.

Локализация направления источника звука становится возможной лишь на средних и высоких частотах. Так как любой реальный звук (речь, музыка, шум) содержит в себе практически составляющие всех звуковых частот, то слушатель определяет направление его прихода в основном по тем составляющим, которые имеют частоту колебаний более 300 *гц*. Главную роль играют частоты от 1 000 до 3 000 *гц*, которые, кроме того, что хорошо локализуются по направлению, еще и лучше всего слышны.

Локализация источника звука в горизонтальной плоскости производится с точностью 10—15° для тех источников, которые расположены перед слушателем. Для источников, расположенных сзади слушателя, точность локализации намного меньше. Способность различать, откуда идет звук — спереди или сзади, а также способность локализации направления прихода звука в вертикальной плоскости объясняется экранирующим действием ушных раковин. Обе эти способности развиты у человека значительно слабее.

Определение расстояния до источника звука (глубинная локализация) производится в результате оценки слуховым аппаратом двух факторов: громкости звука и отношения силы отраженного звука к силе прямого. Чем дальше от слушателя источник звука, тем он слабее слышен и тем больше ощущается реверберация звука в помещении.

3. БИНАУРАЛЬНАЯ ЗВУКОПЕРЕДАЧА

Изучение особенностей слуха и бинаурального эффекта, лежащего в основе способности различать направление, по которому приходит звук, привело к мысли о возможности сохранения пространственной перспективы при звукопередаче, если вместо одного канала связи использовать два, раздельно для правого и левого уха.

На рис. 2 показана блок-схема такой звукопередачи, получившей название б и н а у р а л ь н о й. В помещении *А*, откуда ведется передача, устанавливается модель человеческой головы в натуральную величину. Внутри искусственных ушных раковин размещаются два микрофо-

на, которые «слышат» звуки в помещении точно так же, как человек, если бы он находился в том же месте. По двум раздельным каналам электрические колебания от правого и левого микрофонов передаются в помещение *Б*, где находится слушатель, и поступают соответственно к правому и левому головным телефонам. Нетрудно видеть, что такая система звукопередачи как бы «удлиняет» уши слушателя, перенося их из помещения *Б* в помещение *А* и сохраняя при этом все особенности естественного слуха.

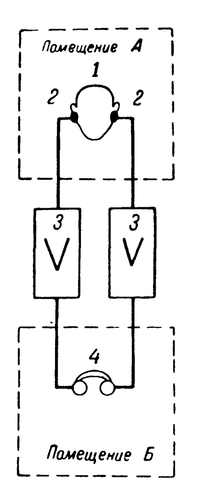


Рис 2. Блок-схема бинауральной звукопередачи.

1 — искусственная голова; *2* — микрофоны; *3* — усилители; *4* — головные телефоны.

Бинауральная звукопередача очень хорошо сохраняет пространственную перспективу звука, но ее существенным недостатком является необходимость слушателю пользоваться головными телефонами. Кроме того, при бинауральной звукопередаче к нескольким слушателям все они, независимо от своего расположения в помещении *Б*, «переносятся» (в слуховом отношении) в одну и ту же точку помещения *А*, ту, в которой находится искусственная голова с микрофонами. Если из помещения *А* в помещение *Б* передается не только звуковая, но и световая информация, как например, при звуковом кино или телевидении, то это может привести к рассогласованию зрительных и слуховых ощущений у людей, находящихся в помещении *Б*, так как все они будут слышать из одной точки помещения *А*, а видеть из разных точек, в зависимости от своего месторасположения в помещении *Б*. По указанным причинам бинауральная звукопередача практического применения не нашла.

4. ИДЕАЛЬНАЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ ЗВУКОПЕРЕДАЧА

Другим способом сохранить пространственную перспективу при звукопередаче является способ так называемой с т е р е о ф о н и ч е с к о й з в у к о п е р е д а ч и. Для его пояснения обратимся к рис. 3, где показано помещение *1*, из которого должна осуществляться звуко-

передача. Отделим мысленно сцену с исполнителями плоскостью *А—А*. Звуковые волны будут непрерывно пронизывать эту плоскость и уходить в ту часть помещения, где находятся слушатели. Проделаем такой опыт:

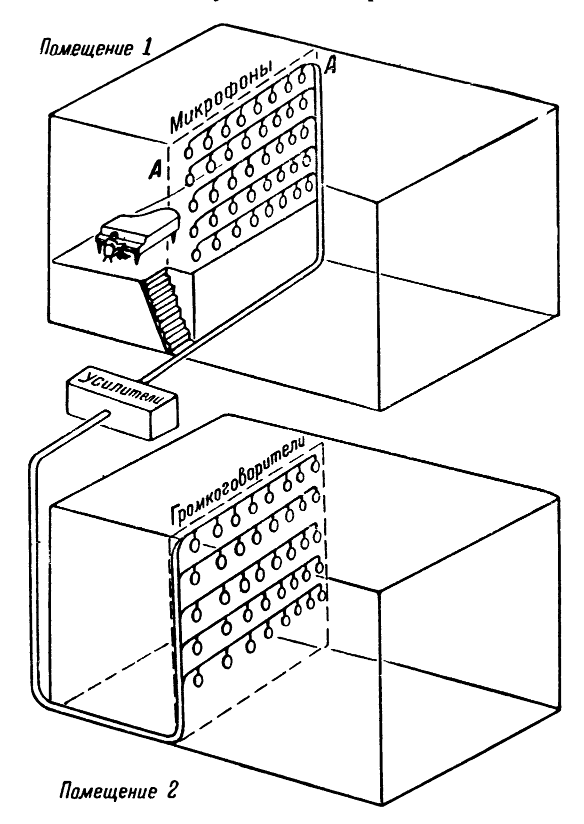


Рис. 3. Блок-схема идеальной стереофонической звукопередачи.

разместим на плоскости *А—А* множество миниатюрных микрофонов, столь малых по размеру, что наличие их не изменяет сколь-либо существенно звуковое поле. Каждый из микрофонов соединим отдельным каналом связи с одним из миниатюрных громкоговорителей, расположенных в том же порядке, что и микрофоны в помещении *2*, куда передается звук. Коэффициент передачи в каналах выберем равным единице, благодаря чему звуко-

вое поле, создаваемое каждым громкоговорителем, в точности равно звуковому полю, действующему на соединенный с ним микрофон.

Если оба помещения строго одинаковы, то нетрудно видеть, что громкоговорители возбудят в помещении *2* то же пространственное звуковое поле, что и существующее в помещении *1*. При звукопередаче будет сохранена пространственная перспектива и тем точнее, чем большее число каналов связи мы используем. Такая система звукопередачи называется идеальной стереофонической. Интересно обратить внимание на ее принципиальное отличие от системы бинауральной звукопередачи: если при последней слушатель как бы переносился в помещение передачи, то при стереофонической звукопередаче, наоборот, звуковое поле переносится к слушателю. Хотя принципиально идеальная стереофоническая звукопередача полностью решает поставленную задачу, однако ввиду сложности и громоздкости практического применения она, так же как и бинауральная, не нашла.

5. СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ ЗВУКОПЕРЕДАЧА ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ КАНАЛОВ

Невозможность на практике осуществить идеальную стереофоническую звукопередачу привела к попыткам свести количество используемых каналов к приемлемому числу, несколько ограничив при этом требования к натуральности звуковоспроизведения. Во-первых, пришлось отказаться от выполнения требования идеальной стереофонической звукопередачи, т. е. слушать передачу в таком же помещении, из которого она ведется. Во-вторых, было признано допустимым ограничиться звукопередачей, при которой сохраняется возможность локализации слушателями направления прихода звука лишь в горизонтальной плоскости, поскольку способность слуха локализовать направление в вертикальной плоскости и в естественных условиях мала. В-третьих, оказалось возможным допустить некоторые ошибки в определении направления прихода отдельных звуков. В тех случаях, когда одновременно со звуком изображение не передается, такие ошибки не очень заметны.

С учетом этих допущений для различных практических целей были разработаны и в настоящее время при-

меняются системы стереофонической звукопередачи с ограниченным числом каналов. Отказ от вертикальной локализации звука позволил во всех этих системах располагать микрофоны и громкоговорители только в один ряд, в отличие от многорядного размещения их в вертикальной плоскости при идеальной стереофонической звукопередаче. Громкоговорители располагаются в том же порядке, что и микрофоны (рис. 4), но не точно в тех же точках помещения, так как и само помещение для слушания обычно совсем не похоже на помещение, откуда ведется передача.

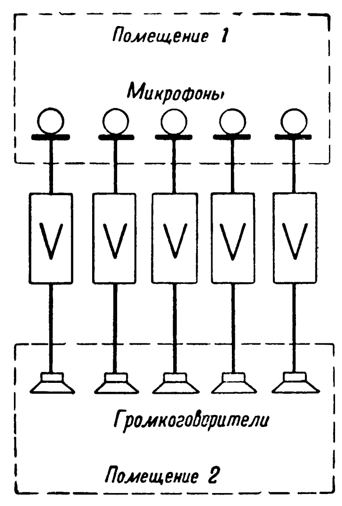


Рис. 4. Блок-схема стереофонической звукопередачи с ограниченным количеством каналов.

Чем больше число каналов, тем точнее передается пространственная перспектива звука, тем звук, как говорят, «стереофоничнее», С другой стороны, с увеличением числа каналов усложняется аппаратура. Поэтому естественно, что в каждом конкретном случае применяют звукопередачу с минимально необходимым количеством каналов.

Многочисленные опыты показали, что это количество зависит от следующего:

1. Чем больше размеры помещения, в котором происходит прием звукопередачи, и чем больше угол, под которым слушатель слышит крайние громкоговорители, тем большее число каналов необходимо. При недостаточном количестве каналов приходится увеличивать расстояние между громкоговорителями настолько, что исчезает впечатление неразрывности звука, создаваемого отдельными громкоговорителями.

2. Чем выше требования к сохранению при звукопередаче пространственной перспективы звука, или, другими словами, его стереофоничности, тем большее число каналов требуется для этого. Правда, как и следовало ожидать, здесь нет прямой пропорции. На рис. 5 показано графически, как стереофоничность звука зависит от

числа каналов n *. При $n=1$ стереофоничность равна нулю (так как это соответствует монофонической звукопередаче), а при $n \to \infty$ стереофоничность стремится к единице, что соответствует идеально стереофоническому звуку. Обращает на себя внимание тот факт, что стереофоничность сначала при увеличении числа каналов быстро возрастает, а затем ее рост замедляется. Поэтому увеличивать число каналов более пяти нецелесообразно, так как это почти не дает прироста качества звучания.

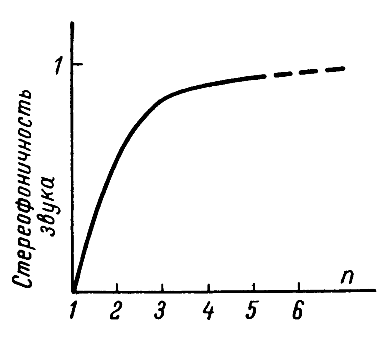


Рис. 5. Зависимость стереофоничности от количества каналов.

3. Если звукопередача сопровождается передачей изображения, то требования к точности локализации направления прихода звука повышаются, так как даже небольшая ошибка легко обнаруживается, как несоответствие слуховых впечатлений зрительным.

4. Если во время звукопередачи источники звука перемещаются, то для точного стереофонического звуковоспроизведения требуется большее число каналов, чем в том случае, когда они неподвижны.

В настоящее время стереофоническая звукопередача получила распространение и практически используется в следующих случаях: 1) для слушания в домашних условиях (в стереофонических радиоприемниках, граммпроигрывателях и магнитофонах); во всех трех случаях используется двухканальная звукопередача и 2) для слушания в специальных помещениях (в широкоэкранном кино, специальных залах для слушания музыки и панорамном кино; в первых двух случаях используется трехканальная звукопередача, а в третьем из-за большого размера экрана количество каналов увеличивают до пяти).

Содержание данной книги посвящено двухканальной стереофонической звукопередаче (или, сокращенно, двухканальной стереофонии). Этот вид стереофонии использует приемлемую по сложности аппаратуру, благодаря

* График предложен М. З. Высоцким.

чему он доступен в домашних условиях. В то же время, несмотря на наличие только двух каналов, качество звучания при стереофонической звукопередаче намного выше, чем при монофонической.

Конечно, неверно было бы утверждать, что при двухканальной стереофонии передается натуральная пространственная перспектива звука. Наоборот, при ней вполне возможны ошибки в определении истинного месторасположения того или иного источника звука. Но это и не так важно, если иметь в виду конкретные условия использования двухканальной стереофонии в домашних условиях. Важно другое: звук при стереофонии перестает назойливо распространяться из одного громкоговорителя, он кажется нам возникающим как в громкоговорителях, так и в пространстве между ними, начинает звучать как бы сам воздух. Все это создает очень хорошее впечатление у слушателей, чем и объясняется та популярность, которую завоевала за последнее время двухканальная стереофония.

Наряду со стереофонической звукопередачей предложены и отчасти применяются многие способы так называемой псевдостереофонической звукопередачи. При псевдостереофонии стремятся с одним каналом связи создать у слушателя иллюзию пространственной перспективы звука, используя различные технические приемы.

Один из них состоит в том, что в месте приема звуковые колебания разделяются фильтрами на низкочастотные и высокочастотные и воспроизводятся раздельно двумя разнесенными громкоговорителями. Благодаря этому те источники звука, которые содержат в спектре излучаемых колебаний главным образом низкие частоты, слышны из одного громкоговорителя, а излучающие главным образом высокие частоты — из другого, и у слушателя создается впечатление их различного пространственного расположения.

К числу псевдостереофонических звукопередач относится также способ звукопередачи, при котором одну и ту же монофоническую информацию направляют в месте приема к нескольким громкоговорителям и, регулируя раздельно уровни громкости каждого из них, создают впечатление перемещения источника звука. Этот способ называется способом панорамирования.

Псевдостереофонические системы звукопередачи проще стереофонических, но намного уступают им в натуральности звуковоспроизведения.

Из перечисленных выше случаев практического использования двухканальной стереофонии основное место в дальнейшем содержании книги займет двухканальное стереофоническое радиовещание и двухканальная стереофоническая магнитная запись.

ГЛАВА ВТОРАЯ
ДВУХКАНАЛЬНАЯ СТЕРЕОФОНИЯ

6. СИСТЕМА АВ *

Данная система стереофонической звукопередачи использует два микрофона, одинаковых по чувствительности и по характеристикам направленности. Располагаются микрофоны на расстоянии до 1,5—2 *м* друг от друга. Как видно из рис. 6, левый микрофон воспринимает звуковые колебания от источников звука, находящихся главным образом слева, преобразует их в электрические колебания и через усилитель левого канала передает их к левому громкоговорителю (направление «левый» или «правый» условимся определять с позиции слушателя, обращенного лицом к источникам звука). Аналогичный процесс происходит в правом канале.

Источники звука, находящиеся в центре между микрофонами, воспринимаются ими обоими одинаково и будут услышаны из пространства, находящегося посередине между громкоговорителями.

При более подробном рассмотрении процесса данной звукопередачи необходимо учитывать, что звуки, излучаемые в пространство перед левым микрофоном, будут восприниматься также и правым микрофоном, но с некоторым сдвигом фаз (а точнее — с разницей во времени) и с разницей в интенсивности; соответственно звуки, излучаемые перед правым микрофоном, будут восприняты также и левым микрофоном и тоже с разницей во времени и в интенсивности. Разница во времени прихода

* Система АВ часто встречается в литературе под названием «классической стереофонии».

звуков от громкоговорителей к ушам слушателя и разница интенсивностей этих звуков определяют воспринимаемый слушателем эффект локализации источников звуков в горизонтальной плоскости.

Что касается ощущения расстояния до источников звука, т. е. глубины их расположения, то оно очень неточно и связано не только с различием интенсивностей, но и с соотношением прямых и отраженных звуков.

Интересно отметить, что даже во время непосредственного прослушивания с затемненной сцены (без звукопередачи) слушатели совершают ошибки в определении глубины расположения источников звука.

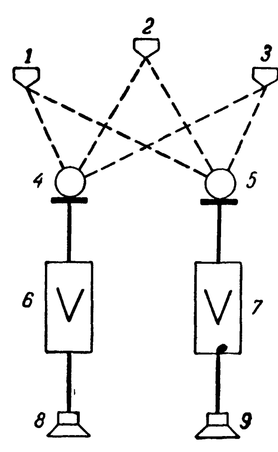


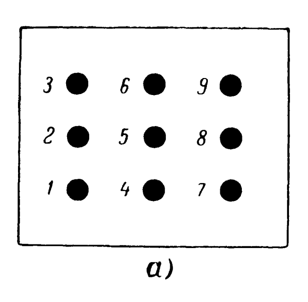
Рис. 6. Блок-схема двухканальной стереофонической звукопередачи по системе АВ.

1, 2 и *3*—источники звуков; *4* и *5*—микрофоны; *6* и *7*—усилители; *8* и *9*—громкоговорители.

Экспериментальная проверка системы АВ была впервые произведена с несколькими источниками звуков, расположенными в студии так, как это показано на рис. 7,*а*. Прослушивание производилось в другом помещении на два громкоговорителя, разнесенных на расстоянии 11,5 *м* друг от друга. Результаты определения расположения источников звука слушателями приведены на рис. 7,*б*.

Из сопоставления рис. 7,*а* и 7,*б* видно, что наибольшие ошибки допущены слушателями в определении глубины расположения источников звука. Определение положения источников звука по фронту отличается бо́льшей точностью.

На рис. 8 показано расположение микрофонов в помещении, откуда происходила звукопередача, и громкоговорителей в помещении прослушивания при другом экспериментальном исследовании системы АВ. В процессе этого эксперимента изменялись расстояние между микрофонами и угол отклонения источника звука относительно оси симметрии микрофонов. Слушатели находились в зоне, обозначенной на рисунке штриховкой, и определяли расстояние W от оси симметрии громкогово-



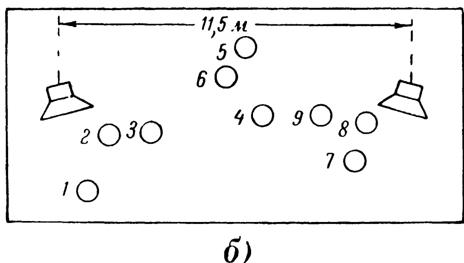
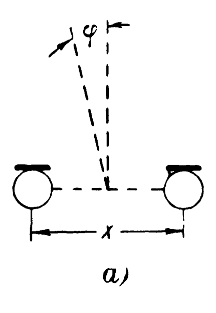


Рис. 7. Экспериментальная проверка стереофонической системы АВ.

а — расположение источников звука в студии; *б* — результат определения местоположения источников звука.



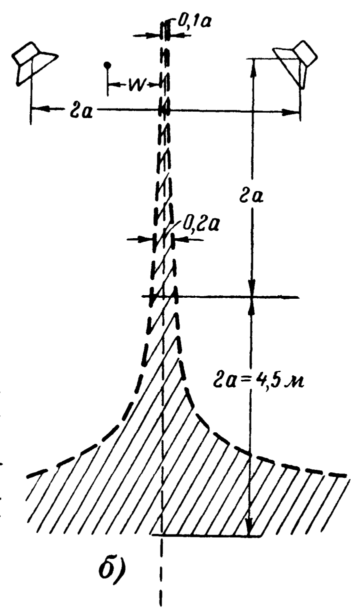


Рис. 8. Экспериментальная проверка стереофонической системы АВ.

а — расположение микрофонов в помещении (φ — угол отклонения источника звука от центральной линии); *б* — расположение громкоговорителей в помещении прослушивания (*W* — положение кажущегося источника звука).

рителей до той точки, в которой им казался расположенным фиктивный источник звука.

Результаты исследования приведены на рис. 9. Как видно из графиков, при достаточно большом расстоянии между микрофонами постепенное смещение действительного источника звука от оси симметрии микрофонов вызывает у слушателя впечатление быстрого передвижения фиктивного источника звука от центра базы (расстояния между центрами двух громкоговорителей) в сторону одного из громкоговорителей. По мере удаления дей-

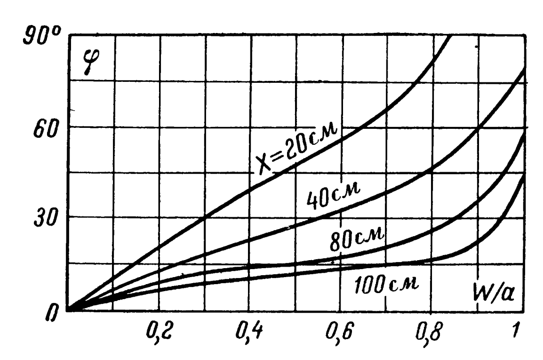


Рис. 9. Результаты исследования системы АВ.

ствительного источника звука от оси симметрии микрофонов передвижение фиктивного источника звука становится все менее и менее заметным. Это обусловливается невозможностью определения местоположения фиктивного источника звука за пределами базы. Таким образом, величина базы ограничивает ширину «звукового изображения».

Если рассмотреть график на рис 9, соответствующий расстоянию между микрофонами 80 *см*, то при постепенном смещении действительного источника звука от оси симметрии на угол 15° фиктивный источник звука передвинется на расстояние $W = a/2$ от центра базы в направлении к одному из громкоговорителей; при дальнейшем смещении действительного источника звука на угол до 30° фиктивный источник звука окажется отстоящим от одного из громкоговорителей всего на расстоянии, равном 0,13 *a*. Смещение действительного источника звука еще на 30° вызовет мало заметное для слушателя пере-

движение фиктивного источника на расстояние, равное 0,13 a, оставшееся до центра одного из громкоговорителей.

Таким образом, при большом расстоянии между микрофонами и при движении источника звука у слушателя создается впечатление скачка звука от одного громкоговорителя к другому.

Эти же экспериментальные исследования показали, что с увеличением расстояния между микрофонами угол звуковосприятия уменьшается, а с уменьшением — увеличивается, что видно из сравнения кривых на рис. 9, соответствующих различным расстояниям между микрофонами. При $X=20$ *см* отклонение фиктивного источника от центра базы пропорционально углу между действительным источником звука и осью симметрии микрофонов, вплоть до $\varphi=70°$. Это говорит о том, что угол звуковосприятия достаточно велик. При $X=40$ *см* пропорциональность между теми же величинами сохраняется лишь до значения $\varphi=45°$. По мере увеличения расстояния X, угол правильного звуковосприятия уменьшается, и при перемещении действительного источника звука за пределы этого угла происходит рассмотренный выше скачок звука к одному из громкоговорителей.

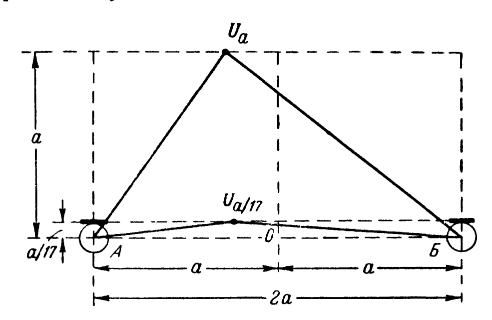


Рис. 10. Перемещение источника звука на расстояниях от линии микрофонов a и $a/17$.

Описанное исследование не учитывало значения расстояния от источника звука до линии расположения микрофонов, которое сводится к следующему.

На рис. 10 показаны два микрофона — A и $Б$, расположенные на расстоянии $2a$ друг от друга. Здесь U_a — источник звука, смещающийся параллельно линии распо-

ложения микрофонов на расстоянии a от нее, $U_a/_{17}$—источник звука, смещающийся параллельно той же линии на расстоянии $a/17$.

На рис. 11 соответственно показано изменение звукового давления, воспринимаемого микрофонами A и $Б$, в зависимости от расположения источников звука U_a и $U_a/_{17}$. Расположение микрофонов и источника звука, соответствующее рис. 11,*б*, практически нереально, но вид кривых делает ясным их характер во всех промежуточных случаях и показывает, что чрезмерное приближение источников звука к линии расположения микрофонов может привести к весьма ослабленному звучанию (к «провалу») источников звука, находящихся в центре звукового поля, к звуковым скачкам или даже к разрыву «звуковой картины» на две отдельные части.

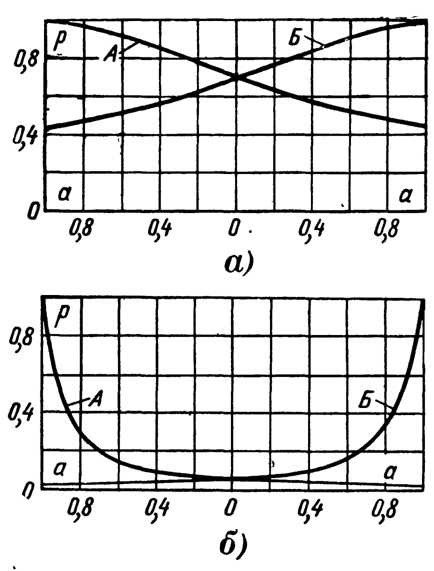


Рис. 11. Распределение звукового давления на микрофоны A и $Б$ от источника звука.

а — находящегося на расстоянии a; *б* — находящегося на расстоянии $a/17$ от линии микрофонов.

Из экспериментальных исследований системы АВ можно сделать следующие выводы:

1. Слишком большое расстояние между микрофонами может привести к возникновению у слушателя впечатления скачка звука от одного громкоговорителя к другому, к отсутствию «протяженности» и непрерывности звуковой картины при воспроизведении, к невозможности рассредоточенно различать в этой картине отдельные источники звуков, занимающие определенные части фронта звучания.

2. Чрезмерно близкое расположение источников звуков к линии микрофонов может вызвать тот же нежела-

тельный эффект, что и большое расстояние между микрофонами.

3. Чем меньше расстояние между микрофонами, тем правильнее звукопередача источников, расположенных под различными углами к оси симметрии микрофонов. Минимальное расстояние ограничивается необходимостью приема микрофонами различных информаций.

Эти выводы определяют свойства системы АВ. Как видно, при этой системе необходимо тщательно выбирать расстояние между микрофонами, а также расстояние от линии расположения микрофонов до источников звуков. Большинство исследователей считают, что звукопередача по системе АВ с одной парой микрофонов наиболее правильно передает звуковую картину и позволяет наилучшим образом реализовать возможности двухканальной стереофонии. Система АВ обычно предусматривает применение микрофонов с характеристиками направленности как в форме круга, так и в форме восьмерки и кардиоиды при условии, что у обоих микрофонов характеристики выбраны одинаковыми. Однако возможно использование и нескольких различных по своим характеристикам микрофонов. Этот случай будет рассмотрен в гл. 6.

7. СИСТЕМА XY

На рис. 12 приведена блок-схема стереофонической звукопередачи по системе XY. Два одинаковых микрофона с характеристиками направленности в форме восьмерок установлены на одной вертикальной оси так, что направления их максимальной чувствительности перпендикулярны друг к другу и образуют углы 45° с плоскостью симметрии, делящей звуковое поле пополам Угол, образованный осями максимальной чувствительности обоих микрофонов и направленный в сторону источников звука, используется как основная зона восприятия звуков.

Способность обоих микрофонов воспринимать звуки, приходящие также и с обратной стороны, используется для приема отраженных звуковых волн и позволяет создавать необходимую акустическую окраску звучания путем приближения микрофонов к источникам звука или удаления их. Если источник звука находится в крайнем левом положении, то он будет воспринят только микро-

фоном X, имеющим в этом направлении максимальную чувствительность; чувствительность микрофона Y в том же направлении равна нулю. Слушатель услышит звук слева, так как будет работать только левый громкоговоритель. Аналогично источник звука, находящийся в пра-

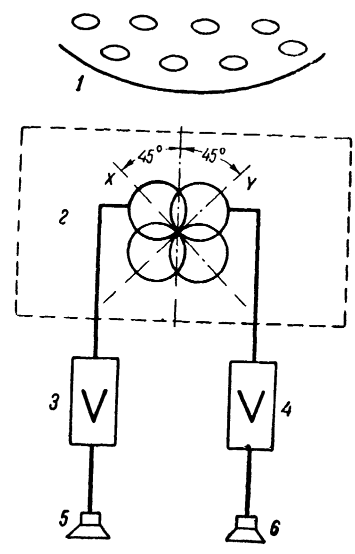


Рис. 12. Блок-схема стереофонической звукопередачи по системе XY.

1 — источники звука; 2 — микрофоны; 3 и 4 — усилители; 5 и 6 — громкоговорители.

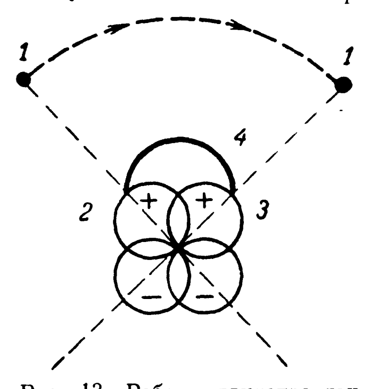


Рис. 13. Работа двунаправленных микрофонов системы XY.

1 — источник звука, передвигающийся по радиусу; 2 и 3 — характеристики микрофонов в основной зоне восприятия; 4 — кривая, получающаяся в результате сложения характеристик 2 и 3.

вом крайнем положении, будет воспринят только микрофоном Y, и звук будет услышан справа. Источник звука, находящийся в центре звукового поля, в одинаковой степени будет воспринят микрофонами X и Y, и слушателю звук покажется исходящим из пространства в центре между двумя громкоговорителями.

Из сложения характеристик направленности обоих микрофонов (кривая 4 на рис. 13) видно, что источники звука, находящиеся в крайних положениях, воспринимаются микрофонами слабее, поэтому кажущиеся источники звука, воспринимаемые слушателем, будут расположены ближе к середине, чем действительные. Если перед микрофонами X и Y находится оркестр, то разница в звуковой информации, передаваемой по каналам X и Y, может быть весьма значительной, но лишь по относи-

тельной интенсивности, с которой будут передаваться по этим каналам звуки тех или иных музыкальных инструментов. Звуки от одного и того же музыкального инструмента будут приходить к микрофонам X и Y в одно и то же время, т. е. никаких фазовых различий между ними в этой системе нет, что, однако, не нарушает стереофоничности звукопередачи.

На рис. 12 была показана наиболее рациональная микрофонная система XY. Однако имеется возможность применения и других систем, показанных на рис. 14.

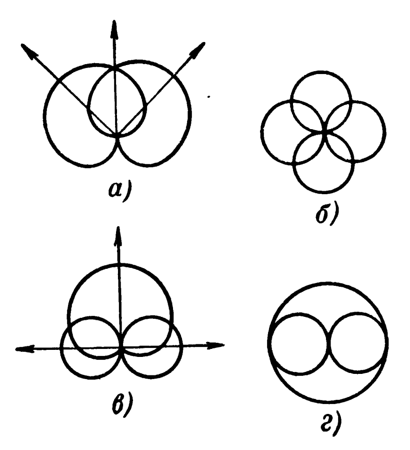


Рис. 14. Возможные комбинации микрофонов в системе XY.

а — два однонаправленных (кардиоидных) микрофона; *б* — два двунаправленных (восьмерочных) микрофона; *в* — кардиоидный и восьмерочный микрофоны; *г* — круговой и восьмерочный микрофоны.

В микрофонной системе на рис. 14,*а* вместо двух двунаправленных микрофонов («восьмерок») установлены два однонаправленных микрофона («кардиоиды»). Расположение микрофонов относительно друг друга и источников звука аналогично показанному на рис. 12. Применение двух «кардиоид» дает худшую локализацию источников звука, чем применение двух «восьмерок». Акустическая «ширина» звукового поля, переданного при помощи двух «кардиоид», будет меньше, чем при передаче его двумя «восьмерками». В этой системе возможно применение двух «кардиоид», ориентированных осями направленности под одинаковыми углами, большими или меньшими 45° по отношению к плоскости, проходящей через середину звукового поля. Соответственно будет получаться лучшая или худшая локализация, а акустическая ширина будет больше или меньше.

На рис. 14,б представлена микрофонная система, из двух двунаправленных микрофонов, также расположенных на одной вертикальной оси; ось максимальной чувствительности одного из микрофонов направлена к цен-

тру звукового поля, а другого — под 90° к направлению оси первого (другими словами, вторая «восьмерка» ориентирована вдоль линии «фронта» звучания).

На рис. 14,*в* и *г* показаны микрофонные системы, в которых вместо «восьмерки», направленной на рис. 14,*б* к центру звукового поля, применены соответственно микрофоны с характеристикой в форме кардиоиды и круга.

В последних трех случаях, как будет показано далее, для получения стереофонической информации о правой и левой сторонах звукового поля в отдельности необходимо выходные напряжения обоих микрофонов подвергнуть суммарно-разностному преобразованию.

8. СИСТЕМА MS

При системе MS (название образовано первыми буквами немецких слов Mittel — Seite, т. е. середина — стороны) используются два микрофона, имеющие разные характеристики направленности, — в комбинациях «круг» и «восьмерка» или «кардиоида» и «восьмерка». Оба микрофона, так же как и в системе XY, устанавливаются близко друг над другом на одной вертикальной оси. Микрофон *M* (микрофон середины) с круговой или кардиоидной характеристикой ориентирован своей лицевой стороной на середину звукового поля, а микрофон *S* (микрофон сторон) с восьмерочной характеристикой направленности ориентирован в том же направлении осью наименьшей чувствительности (рис. 15). Таким образом, в самих микрофонах системы произведено разделение всей воспринимаемой информации на две составляющие: составляющую *M*, содержащую информацию обо всем звуковом поле, и составляющую *S*, содержащую информацию о сторонах поля.

Превращение таких раздельных сигналов в стереофонические происходит путем суммирования выходных напряжений микрофонов *M* и *S* для левого канала и вычитания этих же напряжений для правого при помощи суммарно-разностного преобразователя (СРП) так, как это показано на рис. 16, на котором приведена блок-схема звукопередачи по системе MS. Если источник звука передвигается в горизонтальной плоскости относительно микрофонов (кривая *1* на рис. 15), то он будет восприниматься микрофонами *M* и *S* в одно и то же вре-

мя; фазовые различия в системе MS, так же как и в системе XY, отсутствуют.

Рис. 17 графически поясняет работу системы MS. На нем показаны зависимости выходных напряжений микрофонов *M* и *S* от угла прихода звука. При перемещении

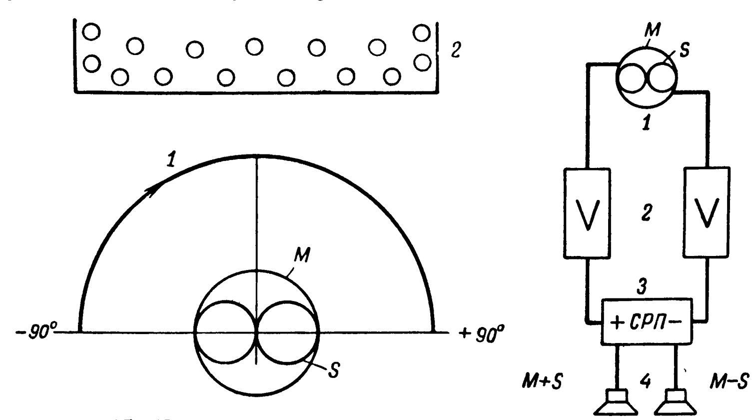


Рис. 15. Комбинация микрофонов системы MS.

1 — линия передвижения источника звука, *2* — источники звука.

Рис. 16. Блок-схема стереофонической звукопередачи по системе MS.

1 — микрофоны; *2* — усилители; *3* — суммарно-разностный преобразователь (СРП); *4* — громкоговорители.

источника звука по радиусу и изменении угла прихода звука от —90° до +90° напряжение микрофона *M* (с идеальной круговой характеристикой направленности) изображается прямой, параллельной оси абсцисс (прямая *1*); оно не зависит от угла

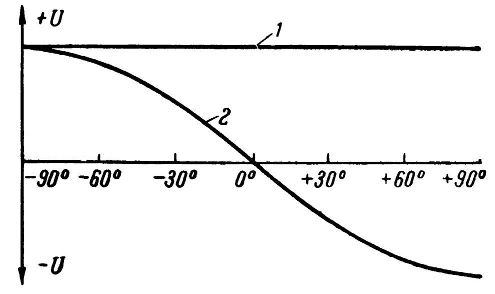


Рис. 17. Зависимости выходных напряжений микрофонов M (*1*) и S (*2*) от угла прихода звука.

прихода звука и постоянно по величине и по фазе. В отличие от него выходное напряжение восьмерочного микрофона *S* (кривая *2*) зависит от угла прихода звука; при угле —90° оно такое же, как при угле +90°, но противоположно по фазе и в данном конкретном случае равно напряжению микрофона *M*. На рис. 18 показаны гра-

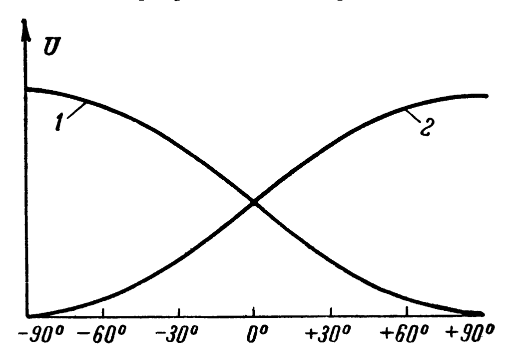


Рис. 18. Кривые результирующих напряжений после СРП.

1 — кривая напряжения левого канала (M+S); *2* — кривая напряжения правого канала (M—S).

фики результирующих напряжений в правом и левом каналах, полученные путем суммирования и вычитания ординат прямой *1* и кривой *2* на рис. 17.

Аналогично можно объяснить работу системы MS и при микрофонах с характеристиками «кардиоида — восьмерка».

9. ВЗАИМОСВЯЗИ СИСТЕМ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ

На рис. 19 приведены различные по характеристикам направленности и по взаимному расположению комбинации микрофонов, где в разных столбцах, но на одной горизонтали находятся эквивалентно работающие комбинации микрофонов, применяемых в различных системах двухканальной стереофонической звукопередачи.

В первом столбце этого рисунка *а* и *б* представляют собой комбинации двунаправленных (случай *а*) и однонаправленных (случай *б*) микрофонов, оси максимальной чувствительности которых ориентированы под углом 90° между собой и под углом 45° к плоскости симметрии звукового поля. Такие микрофоны могут быть использо-

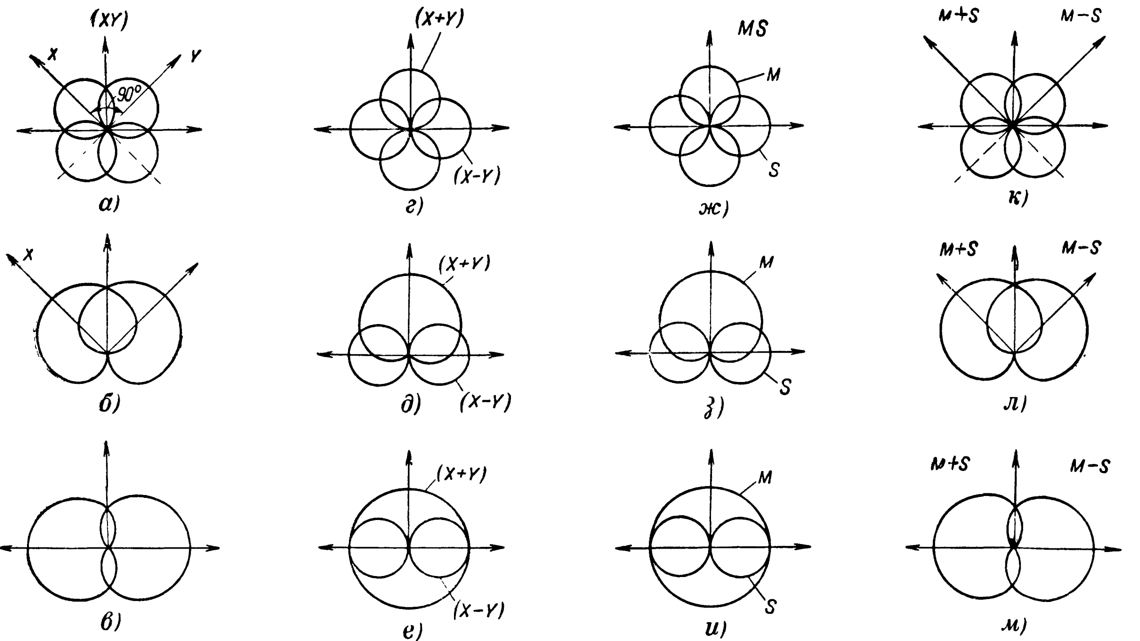


Рис. 19. Эквивалентные комбинации микрофонов, различные по характеристикам направленности и по взаимному расположению.

ваны в системе XY без применения суммарно-разностных преобразований.

Во втором столбце *г* и *д* представляют собой комбинации микрофонов, соответственно эквивалентные комбинациям *а* и *б*, если последние подвергнуть суммарно-разностному преобразованию. В комбинации *г* действие двунаправленного микрофона, ориентированного на центр звукового поля, равноценно сумме действий микрофонов *X* и *Y* комбинации *а*. Второй микрофон, комбинации *г*, ориентированный осью минимальной чувствительности на центр звукового поля, эквивалентен по действию разности действий микрофонов *X* и *Y* комбинации *а*; в комбинации *д* микрофон «кардиоида», направленный на центр звукового поля, эквивалентен по действию сумме микрофонов *X* и *Y*, т. е. $(X+Y)$ в комбинации *б*, а микрофон «восьмерка» — разности тех же микрофонов, т. е. $(X—Y)$. Аналогично, подвергнув суммарно-разностному преобразованию сигналы, получаемые от микрофонов в комбинациях *г* и *д*, мы получим результаты, соответствующие комбинациям микрофонов первого столбца.

В третьем столбце представлены комбинации микрофонов, используемых в системе MS. Когда сигналы от микрофонов *M* и *S* в каждой из этих комбинаций подвергаются суммарно-разностному преобразованию для превращения их в стереофонические сигналы, соответствующие правой и левой сторонам звукового поля, то комбинации микрофонов третьего столбца становятся равноценными соответствующим микрофонным комбинациям четвертого столбца, который в свою очередь повторяет первый столбец.

Суммарно-разностные преобразования, проделанные для четвертого столбца, приведут к равноценным комбинациям третьего столбца.

Таким образом, информацию *M* всегда можно представить как сумму информации $X+Y$, а *S* как разность этих же информаций $(X—Y)$ в системе XY.

10. РАЗНОВИДНОСТИ СИСТЕМ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ

Многомикрофонная система AB. Стереофоническая звукопередача по системе AB может быть осуществлена не только с двумя, но и с несколькими микрофонами. Это дает возможность уменьшить влияние фазовых соот-

ношений между сигналами отдельных микрофонов аналогично тому, как это имеет место в монофонической звукопередаче, когда акустически разделенные между собой группы инструментов или даже отдельные инструменты исполнительского ансамбля имеют свои, достаточно близко расположенные микрофоны.

Для многомикрофонной системы АВ наиболее подходящими являются микрофоны с кардиоидной характеристикой; они обеспечивают наилучшее акустическое разделение отдельных источников звука. Однако в зависимости от их пространственного размещения возможно одновременное использование «круговых» или «восьмерочных» микрофонов. Блок-схема такой звукопередачи отличается от приведенной ранее на рис. 6 для системы АВ тем, что к каждому каналу подключают соответствующее количество микрофонов с самостоятельным регулированием усиления в цепи каждого из них. Для размещения солиста в центре звуковой «картины» близко от него (от 0,4 до 1 *м*) устанавливают два микрофона на небольшом расстоянии друг от друга (иногда меньшем 20 *см*); исполнитель должен восприниматься обоими микрофонами с одинаковой интенсивностью.

В зарубежной практике, учитывая характерную для системы АВ с двумя микрофонами возможность «провала» звучания центра, в записях с участием солиста прибегают к установке третьего микрофона: посередине между левым и правым. Центральный микрофон подключается одновременно к левому и правому каналам.

Многомикрофонная система XY. Не во всякой стереофонической звукопередаче по системе XY можно ограничиться применением одной пары микрофонов (или одного сдвоенного микрофона). При участии в записи солистов, хора и оркестра добиться нужного баланса и правильного звучания всех компонентов «звуковой картины», пользуясь одной парой микрофонов, иногда бывает невозможно; возникает необходимость применения хотя бы еще одной пары микрофонов, при этом возникают трудности из-за возможности приема прямых и отраженных звуковых волн от одного и того же источника звука со стороны противоположных лепестков «восьмерочных» характеристик направленности микрофонов и, следовательно, восприятия этих звуков в противоположных фазах.

Простейшим способом сохранения относительных направлений отдельных источников звуков в общей звуковой картине является расположение всех спаренных микрофонов в плоскости симметрии звукового поля. В микшерском пульте должна быть предусмотрена возможность одновременного регулирования сигналов спаренных микрофонов.

Смешанная система AB и XY. Одновременное применение этих двух систем дает возможность, во-первых, уравнять восприятия микрофонами источников звука, находящихся на краях и в центре площадки, на которой расположены исполнители, и, во-вторых, увеличить расстояние между микрофонами, относящимися к системе AB. Выбор расстояния между ними становится не столь критичен, как в системе AB, так как в смешанной системе опасность скачка звука от одного громкоговорителя к другому значительно уменьшается вследствие действия микрофона системы XY, располагаемого посередине. Таким образом, компенсируются недостатки каждой из систем в отдельности. Угол звуковосприятия смешанной системы как бы увеличивается, «звуковое изображение» расширяется. В левый канал включаются микрофоны A и X, в правый — B и Y.

Система MS с несколькими одиночными микрофонами. В системе MS существует возможность включения любого количества одиночных микрофонов. Исходя из принципа разделения в этой системе стереофонического сигнала на составляющие M и S, необходимо объединять составляющие M от всех микрофонов в один звуковой канал и составляющие S в другой.

Составляющие M получаются при непосредственном подключении одиночных микрофонов к соответствующему каналу, а составляющие S от каждого одиночного микрофона получаются искусственно, посредством включения дополнительного регулирующего звена, показанного на рис. 20.

Движение источника звука имитируется в этом звене регулятором направления PH. Когда регулятор находится в верхнем (по схеме) положении, напряжение в канале S имеет ту же величину и фазу, что и в канале M, при среднем положении регулятора напряжение в канале S равно нулю, а при нижнем положении оно равно и противоположно по фазе напряжению в канале M.

Подобные же результаты можно получить применением мостовой схемы.

Системы с двукратным преобразованием информаций. Кроме рассмотренных ранее систем стереофонической звукопередачи AB и XY, при которых не производится каких-либо преобразований информации, и системы MS

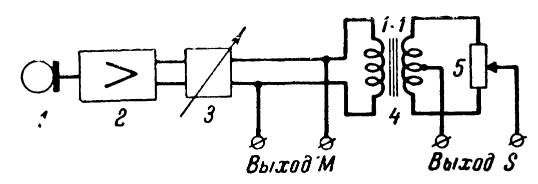


Рис. 20. Принципиальная схема включения одиночного микрофона в систему MS.

1—микрофон; 2—усилитель; 3—регулятор уровня; 4—фазирующий трансформатор; 5—регулятор направления.

с однократным суммарно-разностным преобразованием типа M+S и M—S, существуют системы с двукратным суммарно-разностным преобразованием, одно из которых осуществляется при передаче, а другое при приеме. Подобные системы являются разновидностями систем AB и XY и имеют то значение, что позволяют передать

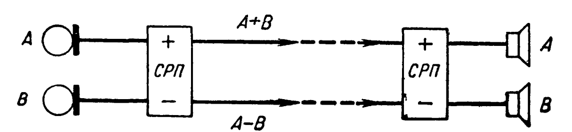


Рис. 21. Блок-схема звукопередачи с двойным суммарно-разностным преобразованием.

в одном канале информацию обо всем звуковом поле. Целесообразность этого в некоторых практических случаях будет показана в последующих главах.

Блок-схема звукопередачи по системе AB с двукратным преобразованием информаций показана на рис. 21. Суммарно-разностный преобразователь (СРП), включенный на передающей стороне, обеспечивает передачу по первому каналу суммы сигналов, воспринимаемых микрофонами A и B, т. е. $A+B$, а по второму каналу разности тех же сигналов, т. е. $A—B$. Таким образом, первый канал содержит в себе полноценную монофоническую информацию.

Очевидно, что стереофонический прием такой звукопередачи возможен только в том случае, если подвергнуть сигналы, передаваемые по обоим каналам вторичному суммарно-разностному преобразованию. При сложении $(A+B)+(A-B)=2A$ восстанавливается информация, принятая микрофоном A, а при вычитании $(A+B)-(A-B)=2B$ информация, принятая микрофоном B. Аналогично рассмотренной осуществляется и система звукопередачи XY с двукратным преобразованием информаций.

Системы с электрическим регулированием акустической ширины и направления звука. Слушание симфонического оркестра в концертном зале дает представление о «протяженности» зон звучания различных групп инструментов или отдельных инструментов в горизонтальной плоскости. Передача правильных соотношений в протяженности компонентов звучания является одной из главных целей стереофонической звукопередачи. Акустическую ширину передаваемой звуковой картины можно регулировать выбором расстояния между микрофонами, степенью отдаленности их от источников звука и направленностью осей максимальной чувствительности микрофонов, а также выбором их характеристик.

Существует возможность и электрического регулирования акустической ширины. Это обеспечивается применением двойного суммарно-разностного преобразования информаций *Л* и *П*, воспринятых соответственно левым и правым микрофонами. В отличие от системы звукопередачи, рассмотренной на рис. 21, оба эти преобразования осуществляются при передаче. В общем виде электрическое регулирование акустической ширины осуществляется по блок-схеме, приведенной на рис. 22, где P_1 и P_2 — регуляторы в первом и втором каналах, K_1 и K_2 — коэффициенты передачи в каналах, изменяющиеся в пределах от 0 до 1, а $Л'$ и $П'$ — преобразованные информации.

При $K_1=K_2=1$ происходит стереофоническая звукопередача без изменения акустической ширины. При $K_1=1$ и $K_2=0$ происходит монофоническая звукопередача по обоим каналам суммарной информации $Л+П$. Акустическая ширина становится, таким образом, равной нулю. При $K_1<1$ происходит расширение, а при $K_2<1$ сужение «звукового изображения».

Если осуществить электрическую регулировку по схеме, показанной на рис. 23, то становится возможным не только регулировать акустическую ширину, но и смещать «звуковое изображение», получаемое при приеме звукопередачи в ту или другую сторону. Как видно из рис. 23, в этой схеме осуществляется двойное преобразо-

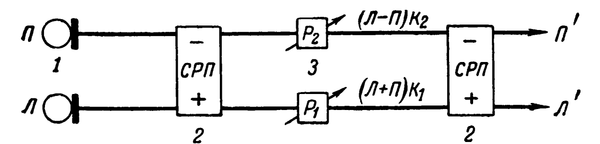


Рис. 22. Блок схема звукопередачи с электрическим регулированием акустической ширины.

1 — микрофоны; 2 — суммарно-разностные преобразователи; 3 — регуляторы ширины.

вание информации на стороне передачи. Между первым и вторым суммарно-разностными преобразователями включен регулятор акустической ширины и направления (РШН). Сигналы левого канала не претерпевают каких-либо изменений в РШН. Коэффициент передачи сигна-

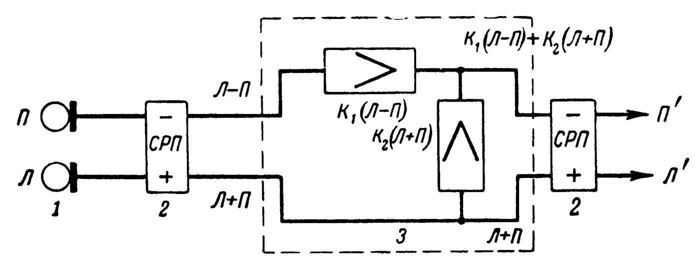


Рис. 23. Блок-схема звукопередачи с электрической регулировкой акустической ширины и направления.

1 — микрофоны; 2 — суммарно-разностные преобразователи; 3 — регулятор ширины и направления.

лов в правом канале K_1 может регулироваться в пределах от 0 до 1. Кроме того, в правый канал добавляются сигналы левого канала. Коэффициент передачи этих сигналов K_2 может регулироваться в пределах от —1 до +1. Рассмотрим, как изменяются результирующие информации на выходе схемы П′ и Л′ в зависимости от значений коэффициентов K_1 и K_2.

Рассмотрим первоначально случай $K_2=0$. При $K_1=0$. информация $Л'=П'=Л+П$, что соответствует монофонической звукопередаче при акустической ширине, равной нулю. При прослушивании звук будет казаться исходящим из середины пространства между левым и правым громкоговорителями. При $K_1=1$ информация $Л'=2Л$, а $П'=2П$, что соответствует нормальной стереофонической звукопередаче. Таким образом, регулировка K_1 изменяет акустическую ширину от нуля до максимума, ограниченного расстоянием между громкоговорителями.

Действие регулировки K_2 удобнее рассмотреть для значения $K_1=0$, т. е. при монофонической звукопередаче Случай $K_2=0$ был уже разобран. Он соответствует монофоническому звучанию из центра. При $K_2=1$ информация $Л'=2(Л+П)$, а $П'=0$. Монофоническое звучание исходит из левого громкоговорителя. Аналогично при $K_2=-1$ информация $Л'=0$, а $П'=2(Л+П)$ и монофоническое звучание исходит из правого громкоговорителя.

Как видно, регулировка величины K_2 сдвигает «звуковое изображение» в сторону правого или левого громкоговорителя.

Регулятор акустической ширины и направления звука в системе MS. Регулятор представляет собой мостовую схему (рис. 24), на вертикальную диагональ которой подается сигнал *M*, (точки *б* и *г*), а на горизонтальную — сигнал *S* (точки *а* и *в*).

Эта же схема может быть использована и для системы XY. При этом переключатель *П* переводится в положение *XY* и микрофоны *X* и *Y* подключаются соответственно к двум соседним ветвям моста (к точкам *аг* и *аб*). Таким образом, на вертикальную диагональ моста в обоих случаях подается сигнал *M* или $X+Y$, а на горизонтальную сигнал *S* или $X—Y$. В горизонтальную диагональ моста введено регулировочное сопротивление R_1, которое в большей или меньшей степени шунтирует схему и изменяет напряжение сигнала *S* или $X—Y$, прикладываемое к этой диагонали. При $S=0$ (горизонтальная диагональ моста замкнута накоротко) второе суммарно-разностное преобразование сигналов на выходе схемы (на рис. 24 не показано) даст для обоих каналов одинаковый результат $M+0$, что соответствует монофонической звукопередаче, слышимой из центра между громкоговорителями, или акустической ширине, равной

нулю. Таким образом, сопротивление R_1 регулирует акустическую ширину.

Регулятор направления R_2 имеет два движка, жестко скрепленные между собой и всегда контактирующие с

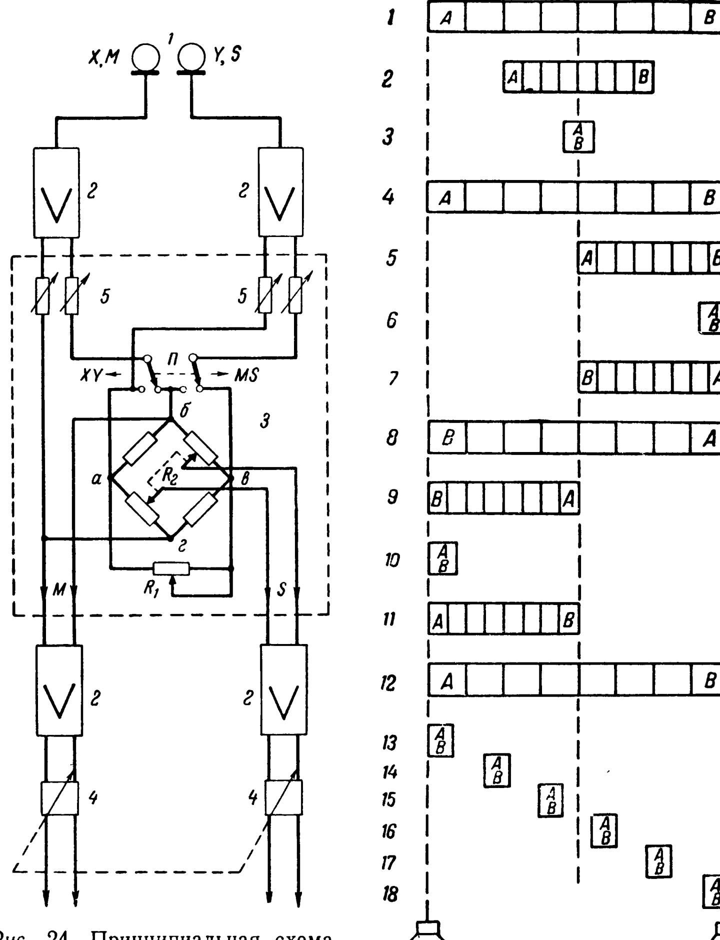


Рис 24. Принципиальная схема регулятора акустической ширины и направления при работе по системам XY и MS.

1 — микрофонная система XY или MS; *2* — усилители; *3* — регулятор ширины и направления; *4* — регулятор уровней; *5* — подстроечные сопротивления.

Рис. 25. Графическое изображение действия регулятора ширины и направления.

1 — „звуковое изображение“ без воздействия регулятора; *2*—*18* — „звуковое изображение“ при воздействии регулятора.

противоположными точками схемы моста. Оба движка могут поворачиваться на 360°, так что к выходу схемы S могут подводиться сигналы M или $-M$ и S или же $-S$, а также их сочетания. Поворот на 360° позволяет в случае необходимости получить зеркальное отражение сторон «звуковой картины».

На рис. 25 в различных строках показано действие регуляторов R_1 и R_2 на стереофоническую «звуковую картину», ограниченную слева и справа источниками звука — A и B. В первой строке показана «звуковая картина», соответствующая максимальной акустической ширине; регулятор R_2 находится в среднем положении, а регулятор R_1 выведен (R_1 максимально). Строки *2* и *3* показывают результат введения регулятора R_1. При полностью введенном регуляторе R_1, пользуясь регулятором R_2 можно получить перемещения звука, показанные в строках *13—18*. Соответственно пользуясь регуляторами R_1 и R_2, можно получить любое из пространственных расположений «звуковой картины», показанных в строках *4—12*.

Таким образом. угол стереофонического звуковосприятия системы MS регулируется изменением величины напряжения, снимаемого с микрофона S: чем оно больше, тем больше угол стереовосприятия. В рассмотренных случаях предполагалось, что величины напряжений M и S равны друг другу при отклонении источника звука на —90° или +90° от плоскости симметрии звукового поля. Если S сделать значительно большим M, то у слушателя создастся впечатление, что местоположение ряда источников звука находится вне расположения громкоговорителей, а источники звука, расположенные в центре звукового поля, воспроизводятся слабее, чем расположенные на краях. К этому иногда прибегают для получения специальных звуковых эффектов.

11. ПЕРЕХОДНОЕ ЗАТУХАНИЕ МЕЖДУ КАНАЛАМИ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ

Из-за различных технических несовершенств сигналы, передаваемые через один канал стереофонической звукопередачи, могут частично проникать во второй канал. Величина происходящего при этом проникании ослабления сигнала, называется переходным зату-

ханием и выражается обычно в децибелах. Чем меньше переходное затухание, тем больше взаимопроникание сигналов из одного канала в другой, приводящее к ослаблению стереофоничности звукопередачи. Поэтому к аппаратуре, предназначенной для такой звукопередачи, должны предъявляться требования обеспечения минимально необходимого переходного затухания между каналами. По экспериментальным данным оно должно быть не менее 20 *дб* в диапазоне 30—200 *гц*, 40 *дб* в диапазоне 200—9 000 *гц* и 30 *дб* на более высоких частотах. Опыт показывает, что эти величины переходного затухания получаются сравнительно несложно.

В связи с этим следует лишь отметить одну принципиальную особенность систем с двукратным преобразованием информаций, т. е. $X+Y/X-Y$ и $A+B/A-B$. Если коэффициент передачи в каналах, по которым передается информация, нестабилен, то это уменьшает величину переходного затухания. Действительно, напряжения на входе второго суммарно-разностного преобразователя (рис. 21) соответственно равны $K(A+B)$ и $K(A-B)$, где K — коэффициент передачи. Если в одном из каналов, например в первом, этот коэффициент возрастет на величину ΔK, то те же напряжения станут равны $(K+\Delta K)$ $(A+B)$ и $K(A-B)$. При этом на выходе второго суммарно-разностного преобразователя мы получим:

в первом канале

$$(K+\Delta K)(A+B)+K(A-B)=A(2K+\Delta K)+\Delta KB;$$

во втором канале

$$(K+\Delta K)(A+B)-K(A-B)=B(2K+\Delta K)+\Delta KA.$$

В полученных результатах члены ΔKB и ΔKA характеризуют вредное взаимопроникание сигналов из одного канала в другой и тем большее, чем больше изменение усиления ΔK.

12. СОВМЕСТИМОСТЬ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ С МОНОФОНИЧЕСКОЙ

Под совместимостью стереофонической звукопередачи с монофонической понимается возможность слушать стереофоническую звукопередачу как полноценную монофо-

ническую. Экономическая и практическая целесообразность достижения совместимости весьма велика, так как она позволяет принимать стереофоническую звукопередачу на имеющуюся в большом количестве в эксплуатации монофоническую аппаратуру.

Полноценность монофонического прослушивания стереофонической звукопередачи заключается в том, что слушатель получает при этом правильное представление о передаваемом звучании с соответствующими частотными и громкостными соотношениями в нем, без потери каких-либо существенных компонентов. Желательно, чтобы монофоническое прослушивание стереофонической звукопередачи не требовало применения каких-либо дополнительных электрических преобразований.

В принципе все рассмотренные нами ранее системы двухканальной стереофонической звукопередачи обладают свойством совместимости. Однако условия достижения совместимости в каждой из систем несколько различаются.

Совместимость в системе AB (с одной парой микрофонов). Если сложить информацию, заключенную в каналах A и B путем, например, последовательного соединения выходов этих каналов, то полученная информация будет соответствовать всему передаваемому звучанию и обеспечивать монофоническое прослушивание. Однако вследствие различного расстояния от источника звука до одного и другого микрофонов фазы напряжений в каналах A и B не будут совпадать, за исключением случая, когда источник звука расположен точно посередине между микрофонами. Поэтому суммирования выходных напряжений обоих каналов во всем диапазоне частот не получается и при прослушивании информации $A+B$ могут обнаруживаться заметные провалы и пики на отдельных частотах, когда фазы напряжений в каналах A и B либо совпадают, либо противоположны друг другу.

Казалось бы, это обстоятельство принципиально делает невозможным достижение совместимости в системе AB. Практически, однако, выявлено, что если обеспечить суммирование напряжений на самых низких частотах, то искажения в остальном диапазоне частот, вызываемые изменением фазовых соотношений, мало ощутимы на слух. Для выполнения вышеуказанного условия надо располагать микрофоны не дальше 1,5—2 *м* друг от дру-

га, соблюдать одинаковую полярность при подключении микрофонов, правильно соединить между собой выходы каналов и иметь различие в фазовых характеристиках каналов, не превышающее 10—15°. Эти требования и являются условиями получения совместимости для системы АВ.

Совместимость в системе XY. Так же, как и в системе АВ, при данной системе для монофонического прослушивания надо использовать суммарную информацию $X+Y$, т. е. подключить громкоговоритель к последовательно соединенным выходам обоих каналов. Так как для данной системы фазовые различия между звуковыми волнами, приходящими к обоим микрофонам, отсутствуют, то легко достигается суммирование во всем диапазоне частот. Необходимо лишь соблюсти правильную полярность при включении микрофонов и соединении между собой выходов каналов, а также иметь достаточно близкие фазовые характеристики обоих каналов. В многомикрофонной системе добавляется необходимость устранения возможности приема звуковых волн различными микрофонами одного канала в противоположных фазах (вследствие удаления этих микрофонов друг от друга) или одним и тем же микрофоном, но со стороны противоположных лепестков восьмерочной характеристики направленности. При соблюдении этих условий систему XY можно считать более совместимой, чем систему АВ.

Совместимость в системе MS. В этой системе совместимость достигается наиболее просто. Для монофонического прослушивания достаточно подключить громкоговоритель к каналу M, по которому передается информация о всем звуковом поле.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

13. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Задача стереофонического двухканального радиовещания сводится к одновременной передаче двух информаций вместо одной при обычном, монофоническом, радиовещании. Одна информация при этом соответствует левому, а другая правому стереофоническому каналу.

Основные требования к системе стереофонического радиовещания могут быть определены следующим образом:

1. Система не должна требовать введения в действие новых радиовещательных станций и не должна увеличивать и без того существующую «тесноту в эфире».

2. Необходимо, чтобы для приема стереофонических радиопередач радиослушателю не требовалось приобретать новые дорогостоящие приемные установки. Лучше всего, если бы слушатель мог воспользоваться имеющимся у него обычным (монофоническим) приемником с добавлением недорогой приставки.

3. Система должна обеспечивать достаточно хорошее разделение левого и правого каналов. Переходное затухание между каналами должно соответствовать величинам, приведенным в § 11.

4. Необходимо, чтобы радиослушатели, у которых нет аппаратуры для приема стереофонических радиопередач, могли слушать эти передачи как обычные монофонические. Для этого нужно, чтобы на обычный радиоприемник принимался сигнал, соответствующий сумме стереофонических каналов. Если это выполняется, то говорят, что система стереофонического радиовещания обладает свойством совместимости.

Большое количество предложенных в разных странах систем стереофонического радиовещания может быть разделено на четыре основные группы: 1) системы стереофонического радиовещания на двух несущих частотах; 2) системы стереофонического радиовещания на одной несущей частоте в диапазонах с амплитудной модуляцией (имеются в виду диапазоны длинных, средних и коротких волн); 3) системы стереофонического радиовещания на одной несущей частоте в УКВ-диапазоне с частотной модуляцией; 4) системы псевдостереофонического радиовещания. Ниже рассматриваются наиболее интересные и перспективные из предложенных систем.

14. СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ НА ДВУХ НЕСУЩИХ ЧАСТОТАХ

В этих системах стереофоническая передача ведется двумя радиостанциями. Каждая радиостанция передает один (правый или левый) стереофонический канал. Для

стереофонического приема слушателям необходимо иметь два радиоприемника или радиоприемник и телевизор. Такая стереофоническая передача может вестись, вообще говоря, через ряд станций. Например, один канал может передаваться в УКВ-диапазоне и на длинных волнах, а другой на средних волнах и через канал звукового сопровождения телевидения.

Недостатки подобных систем очевидны. Во-первых, эти системы неэкономичны, так как для них необходимы по крайней мере два передатчика. Во-вторых, стереофонические передачи слушатель может принимать, имея только два радиоприемника. В-третьих, система с двумя несущими частотами почти исключает наличие двух одинаковых по качеству каналов. Это особенно заметно при использовании для приема одного из каналов телевизора. Наконец, существенным недостатком такой системы является отсутствие совместимости. Слушатель, имеющий один радиоприемник, сможет услышать звучание, соответствующее лишь одному стереофоническому каналу.

Поэтому системы с использованием двух или более радиостанций признаны в настоящее время нерациональными.

15. СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ НА ОДНОЙ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЕ В ДИАПАЗОНАХ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Из диапазонов, используемых для радиовещания с амплитудной модуляцией (АМ), наиболее пригодным для стереофонического радиовещания следует считать диапазон средних волн (0,52—1,6 *Мгц*). Диапазон длинных волн мало пригоден для стереофонического радиовещания, так как полоса пропускания радиоприемников в этом диапазоне мала. В диапазонах коротких волн вести стереофоническое радиовещание нерационально из-за неустойчивости радиоприема.

Передача стереоканалов на разных боковых полосах. Один из возможных вариантов передачи двух стереофонических каналов на одной несущей частоте заключается в использовании для передачи каждого канала одной боковой полосы амплитудно-модулированного колебания.

Пусть несущая частота ω модулирована синусоидальным напряжением стереоканала A, имеющим частоту Ω_A (в дальнейшем буквой A будет обозначаться левый,

а буквой B — правый стереоканалы). Уравнение модулированного колебания будет иметь вид:

$$U_A = U_m \sin \omega t + \frac{U_m}{2} m_A \cos(\omega - \Omega_A) t - \\ - \frac{U_m}{2} m_A \cos(\omega + \Omega_A) t, \quad (1)$$

где m_A — коэффициент модуляции канала A.

Если с помощью фильтра отфильтровать частоту $\omega + \Omega_A$, то будет получено колебание

$$U'_A = U_m \sin \omega t + \frac{U_m}{2} m_A \cos(\omega - \Omega_A) t.$$

Таким же образом, промодулировав несущую частоту напряжением канала B и отфильтровав нижнюю боковую частоту, получим:

$$U'_B = U_m \sin \omega t - \frac{U_m}{2} m_B \cos(\omega + \Omega_B) t.$$

Складывая оба колебания, получаем амплитудно-модулированное колебание, в котором нижняя боковая частота определяется сигналом канала A, а верхняя сигналом канала B. Суммарные колебания излучаются в пространство. В приемнике путем фильтрации боковые полосы разделяются и сигнал, передаваемый верхней боковой полосой, поступает в один, а нижней — в другой тракт. После детектирования выделяются сигналы каналов A и B.

Самым крупным недостатком данной системы является сравнительно высокая стоимость стереофонического приемника, который должен содержать сложные фильтры для разделения боковых полос. Другим недостатком является плохая совместимость, т. е. плохое качество приема стереопередачи на обычный приемник.

По указанным причинам система с передачей стереоканалов на разных боковых частотах не нашла пока практического применения.

Передача стереоканалов с помощью амплитудной и частотной модуляции. В этой системе несущая частота одновременно модулируется как по амплитуде, так и по частоте. Для того чтобы обеспечить совместимость, несущая частота модулируется по амплитуде суммой сигналов обоих стереофонических каналов ($A+B$), а по частоте—их разностью ($A—B$). Тогда обычный, монофонический, приемник, предназначенный только для приема

амплитудно-модулированных колебаний примет сигнал $A+B$, т. е. неискаженный монофонический сигнал. В стереофоническом приемнике сигналы раздельно детектируются по амплитуде и по частоте, в результате чего выделяется сумма и разность сигналов $(A+B)$ и $(A—B)$. Далее применяется суммарно-разностный преобразователь, дающий на выходе раздельные сигналы A и B.

Если применена узкополосная частотная модуляция, то система стереофонического радиовещания с помощью одновременной амплитудной и частотной модуляции не требует расширения полосы пропускания радиоприемника. Так, например, фирмой Вестингауз (США) при макетировании подобной системы применена частотная модуляция с максимальной девиацией частоты 3 *кгц*, причем частотная модуляция осуществляется не всей полосой частот разностного сигнала, а ограниченной полосой от 300 до 3 000 *гц*, так как в этой полосе частот наиболее ощутим стереоэффект. Ширина спектра частотно-модулированных колебаний в такой системе равна 18 *кгц*, что примерно соответствует полосе пропускания радиовещательного приемника в диапазоне средних волн.

Основным недостатком описываемой системы являются сильные нелинейные искажения. Так как кривая избирательности приемника в полосе пропускания не бывает плоской, то всякая частотная модуляция несущей частоты создает паразитную амплитудную модуляцию. При этом, если максимум кривой избирательности находится в рабочей области, происходит удвоение частоты модуляции. В результате на выходе приемника появляются нелинейные искажения, главным образом из-за второй гармоники основного сигнала. Естественно, что при этом становится малым и переходное затухание между каналами, так как сигнал, передаваемый каналом с частотной модуляцией, частично переходит в канал с амплитудной модуляцией. Для ослабления этого явления применяют компенсацию паразитной амплитудной модуляции путем введения при передаче в противофазе дополнительной амплитудной модуляции сигналом $A—B$.

Однако такая компенсация действительна только для одной определенной формы кривой избирательности приемника. Так как практически приемники могут иметь самые различные формы кривой избирательности в преде-

лах полосы пропускания, действие такой компенсации оказывается слабым.

Система стереофонического радиовещания с одновременной амплитудной и частотной модуляцией является видимо мало перспективной.

Передача стереоканалов с использованием квадратурной модуляции. С помощью так называемой квадратурной модуляции можно на одной частоте передать два различных сигнала следующим способом.

Напряжение несущей частоты сдвигается по фазе, образуя два колебания, сдвинутые друг относительно друга на 90° (т. е. находящиеся в квадратуре). Одно колебание модулируется по амплитуде сигналом канала A, другое сигналом канала B. После сложения образуется колебание с квадратурной модуляцией, которое и излучается. Уравнение этого колебания можно написать в виде:

$$U = U_m \left[(1 + m_A \cos \Omega_A t) \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) + \right.$$
$$\left. + (1 + m_B \cos \Omega_B t) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \right]. \qquad (2)$$

Разделение каналов A и B в приемнике производится одновременно с детектированием с помощью так называемого синхронного детектора. Напряжение на выходе синхронного детектора

$$U_{\text{вых}} = kU_{m\text{с}} U_{m\text{г}} m_{\text{с}} \cos \varphi, \qquad (3)$$

где $U_{m\text{с}}$ и $U_{m\text{г}}$ — амплитуды напряжений сигнала и гетеродина;
$m_{\text{с}}$ — коэффициент модуляции сигнала;
k — коэффициент пропорциональности;
φ — угол сдвига фаз между частотами сигнала и гетеродина.

Из уравнения (3) видно, что при равенстве частот сигнала и гетеродина выходное напряжение пропорционально косинусу угла сдвига фаз между напряжением несущей частоты сигнала и опорным напряжением гетеродина. Если этот угол равен 90°, то результат детектирования равен нулю. При сдвиге фаз, равном нулю, выходное напряжение максимально. Таким образом, установив нужную фазу напряжения гетеродина, можно из колебания с квадратурной модуляцией выделить сигнал одного или другого канала.

Квадратурная модуляция широко используется в цветном телевидении, но она не нашла пока практического применения для стереофонического радиовещания. Это объясняется сложностью приемника (синхронный детектор, требующий точной синхронизации) и плохим качеством приема стереопередачи на обычный приемник, который будет реагировать лишь на огибающую амплитуды приходящего колебания. Эта огибающая несинусоидальна при синусоидальной модуляции. Таким образом, возникают нелинейные искажения, которые могут быть невелики только при малых коэффициентах модуляции. Однако работы по использованию квадратурной модуляции для стереофонического радиовещания продолжаются и весьма вероятно приведут к положительным результатам.

16. СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ НА ОДНОЙ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЕ В УКВ ДИАПАЗОНЕ

Для стереофонического радиовещания УКВ диапазон является наиболее перспективным. Это объясняется в первую очередь тем, что прием в УКВ диапазоне практически свободен от внешних помех, что дает возможность высококачественного вещания. Дополнительным преимуществом этого диапазона является широкая полоса пропускания тракта высокой и промежуточной частоты приемника (порядка 150 *кгц*). Как будет показано дальше, это облегчает передачу двух стереоканалов. Поэтому большинство систем стереофонического радиовещания предложено для УКВ диапазона и именно в этом диапазоне ведутся в настоящее время опытные передачи.

Передача стереоканалов с помощью амплитудной и частотной модуляции. Так же, как в диапазонах с амплитудной модуляцией, в УКВ диапазоне может быть осуществлено стереофоническое радиовещание путем смешанной частотной и амплитудной модуляции несущей частоты. Отличие состоит лишь в том, что для достижения совместимости суммарный сигнал $A+B$ должен передаваться путем частотной модуляции, а амплитудная модуляция производится разностным сигналом $A—B$.

Все недостатки такой системы (нелинейные искажения и плохое разделение каналов) остаются и в УКВ диапазоне. Поэтому система со смешанной модуляцией и здесь не нашла применения.

Передача стереоканалов с помощью импульсной модуляции. Для стереофонического радиовещания в УКВ диапазоне предложен ряд систем с импульсной модуляцией. Характерной является система с амплитудно-импульсной модуляцией, предложенная английской фирмой Мюллард. В этой системе сигнал, модулирующий несущую частоту передатчика, представляет собой последовательность синусоидальных импульсов, показанных на рис. 26. Импульсы модулированы по амплитуде поочередно сигналами каналов *А* и *В*. Если выделить и продетектировать отдельно последовательности четных и нечетных импульсов, то можно получить отдельно сигналы каналов *А* и *В*. Передаваемый сигнал содержит также синхронизирующие импульсы, имеющие обратную полярность и следующие после каждых двух рабочих импульсов.

Упрощенная схема детектирующего устройства для разделения стереоканалов в приемнике показана на рис. 27. Генератор на лампе $Л_3$ работает с частотой синхронизирующих импульсов (32,5 *кгц*) Напряжение генератора подается на колебательный контур *LC* и с него в противофазе на защитные сетки пентодов $Л_1$ и $Л_2$. Таким образом, эти лампы поочередно запираются и отпираются. Лампа $Л_1$ отпирается в те моменты, когда на ее управляющую сетку приходят импульсы канала *А*, а лампа $Л_2$ — в моменты прихода импульсов канала *В*. С анодов этих ламп импульсы каждого канала поступают на свой детектор, выделяющий звуковой сигнал.

Рис. 26. Форма сигнала в системе с амплитудно-импульсной модуляцией.

Системы с импульсной модуляцией позволяют получить большие переходные затухания между каналами (порядка 45 *дб*). Однако им свойственны два недостатка. Первый недостаток — широкий спектр излучаемых колебаний, что может создать помехи соседним станциям и заставляет увеличивать полосу пропускания тракта приемника. Второй недостаток — сложность приемника. Поэтому использование импульсных систем стереофонического радиовещания встречает известные трудности.

Передача стереоканалов с использованием поднесущей частоты. Имеется ряд систем стереофонического радиовещания, в УКВ диапазоне отличающихся использованием вспомогательной, так называемой поднесущей частоты. В одной из таких систем — системе Гризе сигнал одного стереоканала частотно модулирует непосредственно несущую частоту, а сигнал другого передается путем частотной модуляции поднесущей частоты 40 *кгц* при максимальной девиации ± 10 *кгц*.

В приемнике сигнал канала *A* выделяется обычным способом. Для получения сигнала *B* поднесущая частота выделяется фильтром и затем демодулируется по частоте.

Серьезным недостатком системы Гризе является отсутствие совместимости, так как обычный УКВ ЧМ радиоприемник примет только один стереоканал *A*. Этот недостаток устранен в суммарно-разностной системе или, как ее иногда называют, системе Кросби.

В системе Кросби несущая непосредственно модулируется по частоте сигналом $A+B$, а поднесущая модулируется по частоте сигналом $A—B$. Величина поднесущей частоты в системе Кросби принята равной 50 *кгц* при девиации ± 25 *кгц*. В этой системе полностью достигается совместимость, так как обычный радиоприемник принимает низкочастотную информацию, соответствующую сумме каналов $A+B$. В стереофоническом приемнике путем суммирования и вычитания разделяют каналы *A* и *B*.

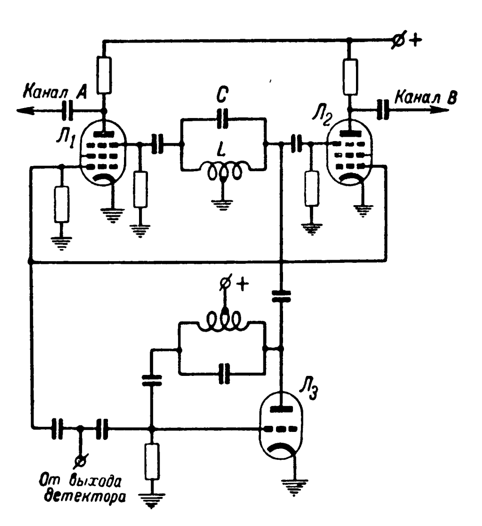


Рис. 27. Схема устройства для разделения каналов в системе с амплитудно-импульсной модуляцией.

Известны некоторые варианты суммарно-разностной системы, например

система Кальбеста, которая отличается тем, что поднесущая частота модулируется не всем спектром разностного сигнала, а только ограниченной полосой частот от 180 до 3 500 *гц*. Это упрощает фильтрацию поднесущей частоты в приемнике, но снижает качество стереовоспроизведения.

Опыты стереофонического радиовещания в УКВ диапазоне по суммарно-разностной системе проводились и проводятся в ряде стран. Однако до сих пор вещание по суммарно-разностной системе не пошло дальше опытных радиопередач. Это объясняется рядом недостатков, свойственных такой системе.

Одним из ее недостатков является необходимость иметь стабильный коэффициент усиления в основных элементах тракта. Нестабильность усиления, как было показано в гл. 2 для систем стереофонической звукопередачи с двукратным преобразованием информаций, ведет к резкому уменьшению переходного затухания между каналами.

Для получения высококачественного разделения каналов необходимо также, чтобы частотные характеристики суммарного и разностного каналов были одинаковыми. При неодинаковых частотных характеристиках разделение каналов будет удовлетворительным только на какой-то одной частоте. Однако схема разностного тракта существенно отличается от схемы суммарного тракта, что весьма затрудняет получение одинаковых частотных характеристик.

Трудновыполнимым является требование идентичности фазовых характеристик в системе. Неидентичность фазовых характеристик суммарного и разностного трактов может вызвать существенные искажения стереоэффекта. В то же время полосовой фильтр, отделяющий надзвуковую часть от звуковой, довольно сложен и вносит большие фазовые сдвиги. Поэтому выравнивание фазовых характеристик в приемнике является весьма трудоемкой задачей.

Для облегчения разделения каналов поднесущей и низкой частот и уменьшения фазовых сдвигов предложена схема приставки к приемнику, использующая дополнительное преобразование поднесущей частоты. Поднесущая частота 50 *кгц* с помощью гетеродина и смесителя преобразуется в частоту 455 *кгц*. Это позволяет приме-

нить простой полосовой фильтр, не вносящий заметных фазовых сдвигов. Конечно, введение гетеродина и смесителя еще больше усложняет приставку, которая в суммарно-разностной системе и так представляет собой довольно дорогое многоламповое устройство.

Чтобы избежать недостатков суммарно-разностного метода, Холстедом была предложена компромиссная система, в которой передатчик непосредственно модулируется сигналом $2A—B$, а путем модуляции поднесущей частоты передается сигнал $2B—A$, при этом на обычный радиоприемник будет принят сигнал $2A—B$, несколько приближающийся к нормальному монофоническому, а стереофонические приемники получат сигнал, близкий к стереофоническому ($2A—B$ и $2B—A$). В этой системе частота поднесущей равна 41 *кгц*, а максимальная девиация ±7 *кгц*. Общая девиация несущей частоты составляет 75 *кгц*, которая распределяется следующим образом: для канала $2A—B$, передающегося на низкой частоте, отводится 70%, а для канала $2B—A$, передающегося на поднесущей частоте, 15% девиации. Оставшиеся 15% отводятся для служебных каналов.

Поскольку при таком распределении частот и девиаций канал $2B—A$ идет с большим уровнем шумов, то в системе предусмотрена возможность ограничения диапазона воспроизводимых частот в этом канале до 8 *кгц*. При этом стереофонические каналы оказываются неравноценными по частотным характеристикам. Для выравнивания частотных характеристик недостающая часть спектра (8—15 *кгц*) вводится в канал $2B—A$ из канала $2A—B$. Следовательно, на частотах выше 8 *кгц* стереофонический эффект отсутствует.

Блок-схема приставки к радиовещательному приемнику для приема стереопередач по системе Холстеда приведена на рис. 28. На схеме показано управляющее устройство, которое включает канал поднесущей частоты только тогда, когда идет стереопередача. Это устройство работает от сигналов, посылаемых на частоте 20—25 *кгц*.

Система Холстеда обладает рядом преимуществ перед системой Кросби. Она не требует применения суммирующе-вычитающих устройств, обеспечивает хорошую громкость приема на моноприемнике, позволяет полностью отделить низкочастотный канал от каналов, пе-

редающихся на поднесущей частоте. Однако эти преимущества достигаются ценой частичной потери совместимости ($2A—B$ вместо $A+B$) и существенной потери качества стереовоспроизведения. Правда, на центральной линии между громкоговорителями двух каналов стереоэффект должен сохраниться. Действительно, если представить напряжения каналов в виде $2A—B=A+(A—B)$ и $2B—A=B—(A—B)$, то на центральной линии части сигнала, помещенные в круглых скобках, взаимно скомпенсируются. Однако практически такая компенсация в месте слушания маловероятна. В последних модификациях

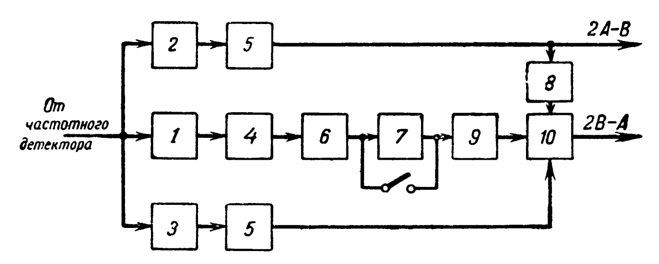


Рис. 28. Блок-схема приставки к приемнику по системе Холстеда.

1—фильтр поднесущей частоты; 2—фильтр нижних частот (f_0=15 *кгц*); 3—фильтр управляющих сигналов; 4—усилитель-ограничитель; 5—усилитель; 6—частотный детектор; 7—фильтр нижних частот (f_0= 8 *кгц*); 8—фильтр верхних частот (f_0=8 *кгц*); 9—схема сложения; 10—управляемый усилитель.

системы в приемнике используется суммирующе-вычитающий блок для выделения стереоканалов, но это приближает систему Холстеда к системе Кросби со всеми ее недостатками.

В США в настоящее время ведется опытное стереофоническое радиовещание по системе Холстеда, которое покажет, насколько она практически пригодна к использованию.

17. СИСТЕМЫ ПСЕВДОСТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

Под системами псевдостереофонического радиовещания понимаются системы, которые не передают двух раздельных стереофонических каналов, но путем использования тех или иных искусственных приемов создают у слушателей впечатление, более или менее соответствующее стереофоническому звучанию.

Псевдостереофонические системы всегда уступают по качеству стереоэффекта системам с натуральной стереофонией. Однако в ряде случаев они имеют преимущества или по громкости приема на монофонические приемники, или по помехоустойчивости, или, наконец, по простоте и сравнительно небольшой стоимости приемной аппаратуры. Поэтому некоторые исследователи продолжают поиски в области псевдостереофонических систем, пытаясь, сохранив указанные преимущества, создать звучание, наиболее близкое к стереофоническому.

Система псевдостереофонического радиовещания с пилот-сигналами. В системе с пилот-сигналами по радио передается обычный монофонический сигнал, который после детектирования поступает на два усилителя низкой частоты и две акустические системы. Усиление в каждом из усилителей не является постоянным, а изменяется в зависимости от амплитуды управляющих сигналов (пилот-сигналов). Таким образом, в каждый момент времени амплитуда сигнала на выходе каждого канала может примерно соответствовать передаваемой звуковой программе.

Блок-схемы передающей и приемной частей системы показаны на рис. 29. Сигнал каждого из стереоканалов выпрямляется. При этом образуется постоянная составляющая, величина которой в каждый момент соответствует интенсивности сигнала. Эта постоянная составляющая модулирует амплитуду пилот-сигнала соответствующего канала. Пилот-сигналы вместе с суммой сигналов обоих каналов передаются через передатчик.

В стереофоническом приемнике пилот-сигналы выделяются фильтрами и каждый из этих сигналов управляет усилением УНЧ соответствующего канала. В обычном радиоприемнике пилот-сигналы не будут выделены и слушатель примет монофоническую передачу.

На рис. 30 показан вариант распределения частот в системе с пилот-сигналами. Полезный звуковой сигнал передается в полосе частот до 14 *кгц*. На эту же верхнюю частоту рассчитан тракт низкой частоты приемника. Пилот-сигналы передаются на частотах 14,5 и 14,7 *кгц*. Для того чтобы они не воспринимались слушателем как мешающий сигнал, их уровень берется весьма низким, всего лишь на 12 *дб* превышающим уровень шумов. Фильтры, выделяющие пилот-сигналы, имеют очень уз-

кую полосу пропускания, равную 100 *гц*. Поэтому после фильтра уровень каждого пилот-сигнала превышает уровень шумов примерно на 32 *дб*, что достаточно для управления усилителем низкой частоты.

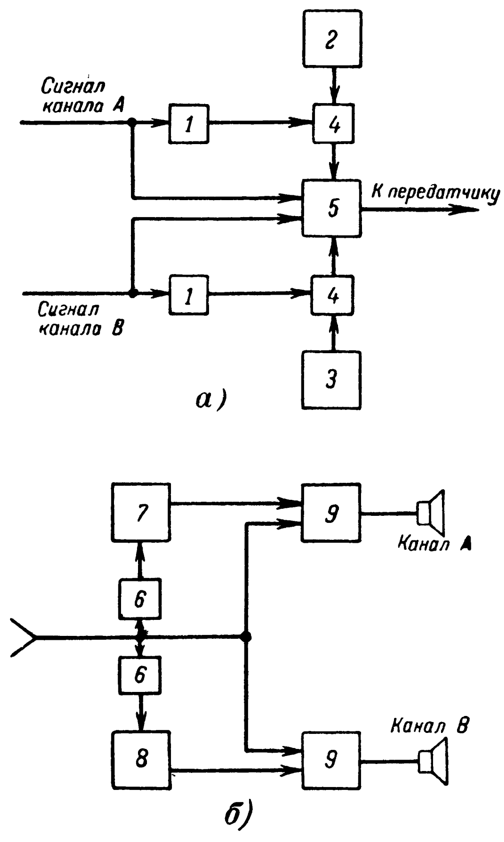


Рис. 29. Блок-схема системы псевдостереофонического радиовещания с пилот-сигналами.

а — передающая часть (*1* — выпрямитель; *2* — генератор первого пилот-сигнала; *3* — генератор второго пилот-сигнала; *4* — модулятор; *5* — схема сложения); *б* — приемная часть (*6* — фильтр; *7* — усилитель первого пилот-сигнала; *8* — усилитель второго пилот-сигнала; *9* — управляемый усилитель).

Основное достоинство системы с пилот-сигналами состоит в том, что при ней осуществляется полная совместимость с монофоническим приемом без потерь в гром

кости при переходе с монофонической на стереофоническую передачу. Однако стереофонический эффект, создаваемый в такой системе, весьма неполноценен. В частности, если в оркестре солируют одновременно два инструмента, находящиеся в разных сторонах эстрады, то система с пилот-сигналами оказывается бессильной в создании правильной локализации источников звука. Такая система фактически не создает стереофонического звука, а лишь в каждый момент времени выделяет канал

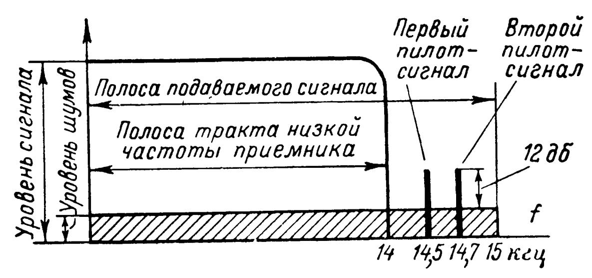


Рис. 30. Распределение частот в системе с пилот-сигналами.

с более громким звучанием. Поэтому система с пилот-сигналами, несмотря на ее оригинальность и относительную простоту, не нашла практического применения.

Система, основанная на эффекте предварения. Эффект предварения или, как его иногда называют, «эффект Хааса» заключается в том, что при наличии двух разнесенных источников звука одинаковой громкости, начинающих действовать не одновременно, звук кажется исходящим из источника, включаемого первым. Другими словами, если один и тот же звук передать по первому каналу без задержки во времени, а по второму с задержкой порядка нескольких миллисекунд, то он будет слышен как переданный по первому каналу.

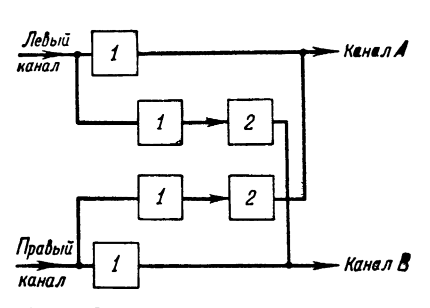


Рис. 31. Использование эффекта предварения для получения псевдостереофонического эффекта.
1 — усилитель; 2 — линия задержки.

Эффект предварения может быть использован для стереовещания по схеме, показанной на рис. 31. На выходе каждого из каналов (A или B) содержится незадержанный сигнал своего канала и задержанный по времени сигнал другого канала. Каналы A и B могут быть переданы по радио любым методом, например, по системе Гризе или через две радиостанции.

Преимуществом системы является то, что каждый из

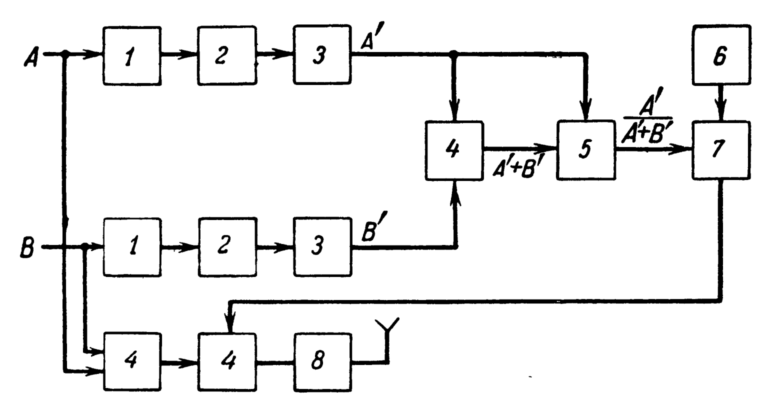


Рис. 32. Упрощенная блок-схема передающей части системы „Парсиваль".

1 — схема предыскажений; *2* — выпрямитель; *3* — дифференцирующая схема; *4* — схема сложения; *5* — схема деления; *6* — генератор (f=22 *кгц*); *7* — модулятор; *8* — передатчик.

переданных сигналов обепечивает нормальный моноприем, так как является суммой сигналов левого и правого каналов. При стереоприеме слушатель вследствие эффекта предварения может различить стереоканалы.

Недостаток рассматриваемой системы заключается в том, что пределы, в которых действует эффект предварения, недостаточны для хорошего разделения каналов. Так, если задержанный во времени сигнал превышает по интенсивности незадержанный более, чем на 10 *дб* (в 3 раза), то эффект предварения перестает действовать и задержанный сигнал становится слышимым.

Система Парсиваль. В этой системе с целью передачи наиболее полной информации о направлении источников звучания использован как принцип пилот-сигналов, так и эффект предварения. Упрощенная блок-схема передающей части системы «Парсиваль» изображена на рис. 32.

Здесь, как и в системе с пилот-сигналами, по радио передается монофонический сигнал $A+B$ и дополнительный сигнал, содержащий стереофоническую информацию. Последний передается на вспомогательной поднесущей частоте 22 *кгц* в узкой полосе частот, составляющей всего 100 *гц*.

Образование сигнала стереоинформации происходит следующим образом. Сигнал каждого из каналов проходит через цепь предискажений, имеющую подъем частотной характеристики в сторону верхних звуковых частот. Этим подчеркиваются верхние частоты, играющие основную роль в получении стереоэффекта. Затем с помощью выпрямителя выделяется огибающая каждого из сигналов. Эта огибающая проходит через дифференцирующую цепь, создающую сигнал, пропорциональный скорости изменения огибающей. Тем самым подчеркиваются моменты начала звучания какого-либо инструмента (быстрое нарастание) и конца звучания (быстрый спад огибающей). В результате преобразований сигналов каналов A и B образуются сигналы A' и B'. Эти сигналы преобразуются в сигнал $A'/A'+B'$, которым модулируется поднесущая частота.

В приемнике с помощью фильтров сигнал стереоинформации отделяется от основного сигнала и детектируется. В декодирующем устройстве основной сигнал и сигнал стереоинформации преобразуются следующим образом:

$$A_0 = (A+B)\cdot\frac{A'}{A'+Б'};$$

$$B_0 = (A+B) - A_0 = (A+B)\frac{Б'}{A'+Б'}.$$

Таким образом, основной сигнал $A+B$ умножается на управляющий сигнал каждого канала, содержащий информацию о мгновенной громкости в этом канале и о переходных процессах (начало и конец звучания). Сигналы A_0 и B_0 поступают на усилители низкой частоты и акустические системы.

С помощью системы «Парсиваль» можно воспроизвести многие характерные черты стереофонического звучания. Однако и такая система при всей своей сложности не может полностью воссоздать «звуковую картину» сложного музыкального ансамбля.

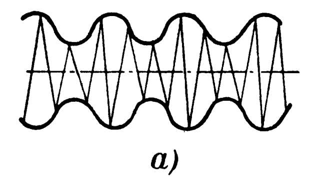
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
СИСТЕМА СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ С ПОЛЯРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В предыдущей главе был рассмотрен ряд систем стереофонического радиовещания на одной несущей частоте, предложенных для УКВ диапазона. Некоторые из этих систем (например, система Гризе) не обладают свойством совместимости. Другие же (например, система Кросби) достигают совместимости ценой ухудшения качества стереофонического звучания и усложнения приемного устройства.

Наилучшей для стереофонического радиовещания является система, которая могла бы передать оба стереоканала без каких-либо дополнительных преобразований и в то же время обеспечивала бы полную совместимость с моноприемом. Такой системой является предложенная и разработанная в Советском Союзе система стереофонического радиовещания с полярной модуляцией.

18. СУЩНОСТЬ ПОЛЯРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Обычное амплитудно-модулированное колебание представляет собой колебание несущей частоты, огибающая которой сверху и снизу изменяется по закону модулирующего сигнала (рис. 33,*а*). В полярно-модулиро-


а)

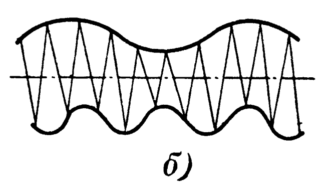

б)

Рис. 33. Амплитудно-модулированное (*а*) и полярно-модулированное (*б*) колебания.

ванном колебании (рис. 33,*б*) положительные полупериоды несущей частоты модулированы одним сигналом, а отрицательные — другим. С помощью полярно-модулированного колебания можно, следовательно, передать одновременно две информации.

Для разделения каналов используется так называемый **полярный детектор** (рис. 34), представляющий собой два амплитудных детектора, включенных

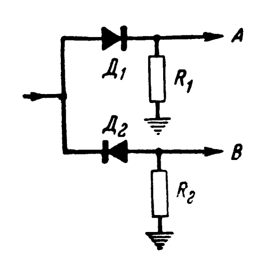


Рис. 34. Принцип разделения каналов при полярной модуляции (полярный детектор).

в противоположных направлениях. Диод, пропускающий положительные полупериоды несущей частоты, выделяет первый сигнал, а другой диод — второй сигнал.

Уравнение полярно-модулированных колебаний для синусоидальной модуляции может быть написано в виде

$$U = U_1 - U_2 + (U_1 + U_2)\sin \omega t, \quad (4)$$

где

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= U_m(1 + m_1 \sin \Omega_1 t); \\ U_2 &= U_m(1 + m_2 \sin \Omega_2 t); \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

ω — несущая частота;

Ω_1 и Ω_2, m_1 и m_2 — частоты и коэффициенты модуляции первого и второго каналов соответственно.

Подставляя в уравнение (4) значения U_1 и U_2, после преобразований получим выражение для спектра полярно-модулированных колебаний:

$$U = U_m(m_1 \sin \Omega_1 t - m_2 \sin \Omega_2 t) + \\ + \frac{U_m}{2}[m_1 \cos(\omega - \Omega_1)t + m_2 \cos(\omega - \Omega_2)t] - \\ - \frac{U_m}{2}[m_1 \cos(\omega + \Omega_1)t + m_2 \cos(\omega + \Omega_2)t] + 2U_m \sin \omega t. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что спектр полярно-модулированного колебания состоит из низкочастотной части, представляющей собой разность модулирующих сигналов верхнего и нижнего каналов, и высокочастотной части, представляющей собой обычный спектр амплитудно-модулированного колебания, при этом несущая частота модулирована сигналом, являющимся суммой сигналов обоих каналов.

В более общем виде полярно-модулированное колебание может быть записано в следующем виде:

$$U = (U_1 - U_2) + b(U_1 + U_2)\sin \omega t, \quad (7)$$

где коэффициент b определяет долю высокочастотной части в полярно-модулированном колебании.

Если сигнал одного из каналов, скажем первого, отсутствует, то при $b=1$ получается колебание, показанное на рис. 35,*а* т. е. «чистое» полярно-модулированное колебание. При $b>1$ колебание приобретает вид, показанный на рис. 35,*б*. В этом колебании модуляция второго канала проникает в огибающую верхних полупериодов несущей частоты, причем фазы огибающих противоположны. При $b<1$ (рис. 35,*в*) также имеет место проникание сигнала в огибающую верхних полупериодов, но фазы обоих огибающих одинаковы. Как будет

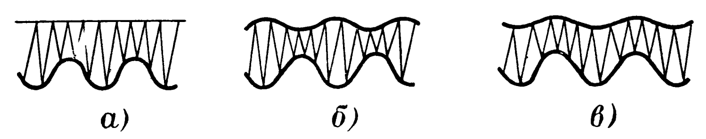


Рис 35 Полярно-модулированное колебание при различных значениях коэффициента *b*.
а — при $b=1$; *б* — при $b>1$; *в* — при $b<1$.

показано ниже, для наилучшего разделения каналов приходится применять не «чистое» полярно-модулированное колебание, а колебание вида, показанного на рис. 35,*б*, т. е. выбирать *b* несколько большей единицы.

Следует отметить, что полярно-модулированные колебания могут быть переданы по любой проводной линии связи, но не могут непосредственно излучаться, так как в спектре полярно-модулированных колебаний, кроме несущей частоты с ее боковыми частотами, присутствует низкая частота, которая не может быть передана в пространство. Однако если частоту ω считать не несущей, а вспомогательной (поднесущей частотой), то полярно-модулированными колебаниями может модулироваться несущая частота радиопередатчика. При этом модуляция несущей частоты передатчика может быть амплитудной, частотной или фазовой.

19. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЯРНО-МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Результат детектирования полярно-модулированных колебаний зависит от инерционности применяемого детектора.

Безынерционный детектор. В безынерционном детекторе (рис. 34) полярно-модулированные колебания как

бы разрезаются по линии $U=0$. Составляющая низкой частоты после детектирования положительных полупериодов может быть определена по известной формуле

$$U_{н}=U_{ог}\frac{\sin\theta-\theta\cos\theta}{\pi(1-\cos\theta)}, \qquad (8)$$

где θ — угол отсечки;

$U_{ог}$ — напряжение огибающей верхних полупериодов несущей частоты.

Для полярно-модулированных колебаний (из выражения 7) имеем:

$$\theta=\arccos\frac{U_2-U_1}{b(U_2+U_1)};$$

$$U_{ог}=(U_1-U_2)+b(U_1+U_2).$$

Подставляя это в уравнение (8) и учитывая равенства (5), после преобразований получаем для основной частоты продетектированного сигнала следующее выражение:

$$U_{вых}\approx\frac{U_m}{2\pi}\left[\left(2b+\pi+\frac{m_2^2-3m_1^2}{16b}\right)m_1\sin\Omega_1 t+\right.$$

$$\left.+\left(2b-\pi+\frac{m_1^2-3m_2^2}{16b}\right)m_2\sin\Omega_2 t\right]. \qquad (9)$$

Здесь первый член в квадратных скобках является полезным сигналом первого канала, а второй член — мешающим сигналом второго канала.

Для отсутствия мешающего сигнала необходимо, чтобы выполнялось следующее соотношение:

$$2b-\pi+\frac{m_1^2-3m_2^2}{16b}=0.$$

Для наиболее трудного случая, когда полезный сигнал отсутствует ($m_1=0$), а мешающий сигнал максимален ($m_2=1$), оптимальная величина коэффициента b оказывается равной $b_{опт}=1{,}63$.

Как видно из изложенного, при безынерционном детектировании полярно-модулированное колебание должно существенно отличаться от «чистого», изображенного на рис. 35,*а*. К сожалению, $b=1{,}63$ гарантирует от проникания одного канала в другой только при $m_1=0$ и $m_2=1$. Так, например, при $m_1=0{,}5$ и $m_2=0{,}5$ величина переходного затухания между каналами, подсчитанная

на основании формулы (11), составляет 36 *дб*. Это означает, что при безынерционном детектировании полное разделение каналов полярно-модулированного колебания неосуществимо.

Физический смысл такого явления легко уяснить из рассмотрения рис. 35,*б*. Синусоидальные импульсы соседних полупериодов одной полярности различны по углу отсечки или, иначе говоря, по ширине. Наличие паразитной широтно-импульсной модуляции и вызывает проникание сигнала из одного канала в другой. Так как величина этой широтно-импульсной модуляции зависит от коэффициента модуляции полезного и мешающего сигналов, компенсация такого проникания возможна только для определенных значений m_1 и m_2, например, для $m_1=0$ и $m_2=1$.

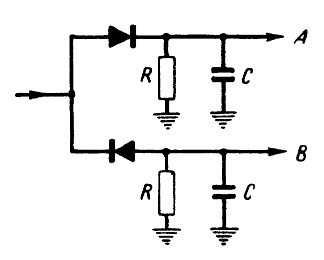


Рис. 36. Схема идеально инерционного полярного детектора.

При безынерционном детектировании полярно-модулированных колебаний возникают нелинейные искажения. Анализ показывает, что их величина может достигать 2,6%. Таким образом, безынерционный детектор не является наилучшим с точки зрения детектирования полярно-модулированных колебаний.

Идеально инерционный детектор. Идеально инерционным детектором (рис. 36) будем называть такой, в котором напряжение на нагрузке не изменяется за период колебаний несущей частоты. Практически идеально инерционным можно считать детектор, в котором выполняется следующее условие:

$$\omega RC \gg 1,$$

где ω — несущая частота;
R и C — сопротивление и емкость нагрузки детектора.

Если считать статическое внутреннее сопротивление диода весьма малым по сравнению с сопротивлением нагрузки, то угол отсечки при детектировании будет близким к нулю, а выходное напряжение будет соответствовать огибающей детектируемого полупериода несущей

частоты. Так, если детектируется верхний канал, то

$$U_н = (b+1)U_1 + (b-1)U_2.$$

Подставляя значения U_1 и U_2 и опуская постоянную составляющую, получим для выходного напряжения низкой частоты следующее уравнение:

$$U_{вых} = (b+1)m_1 \sin\Omega_1 t + (b-1)m_2 \sin\Omega_2 t. \qquad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что при $b=1$ имеет место полное разделение каналов:

$$U_{вых} = 2m_1 \sin\Omega_1 t.$$

Если нельзя пренебречь внутренним сопротивлением диода, то вывод выражения для сигнала на выходе детектора усложняется. Однако можно показать, что и в этом случае возможно практически полное разделение каналов, если коэффициент b взять равным:

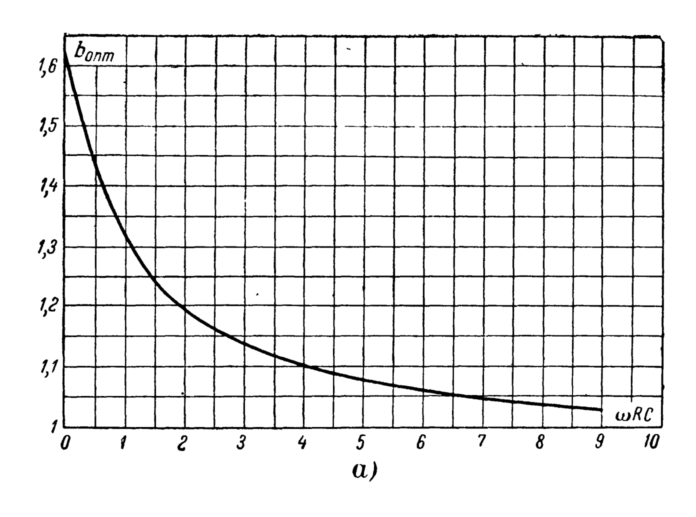
$$b_{опт} \approx 1 + 1{,}07\sqrt[3]{\alpha^2}, \qquad (11)$$

где $\alpha = \frac{R_i}{R} \ll 1$.

Например, для обычно встречающейся величины $\alpha = 10^{-3}$ получаем $b_{опт} = 1{,}08$.

Таким образом, идеально инерционный детектор обеспечивает практически полное разделение каналов полярно-модулированного колебания. При этом оптимальная величина коэффициента b, т. е. доли высокочастотной части, зависит от соотношения величины внутреннего сопротивления диода и величины нагрузки.

Детектор с конечной инерционностью. Реальный детектор, применяемый в радиоприемниках, хотя и обладает большой инерционностью (емкость конденсатора в нагрузке достаточно велика), однако далеко не всегда может считаться идеально инерционным. В частности, его нельзя считать идеально инерционным тогда, когда несущая частота немногим выше, чем модулирующие частоты. Именно с таким случаем мы имеем дело, когда частота полярно-модулированного колебания является надтональной поднесущей частотой (см. § 18). Свойства полярного детектора являются в этом случае промежуточными между свойствами безынерционного и идеально инерционного детектора. Соответственно при детектировании колебаний с полярной модуляцией будет наблюдаться следующее явление: чем больше инерцион-



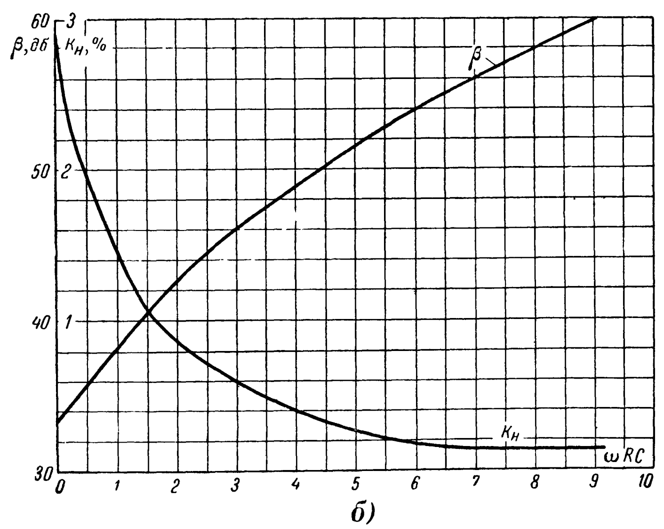


Рис. 37. Расчетные графики для определения параметров и характеристик полярной модуляции.

а — зависимость оптимальной величины коэффициента *b* от степени инерционности детектора; *б* — зависимость величины переходного затухания β между каналами и величины нелинейных искажений $K_н$ от степени инерционности детектора.

ность детектора, тем ближе к единице требуемая величина коэффициента b в формуле (7), т. е. тем ближе могут быть колебания по форме к «чистым» полярно модулированным колебаниям, показанным на рис. 35,*а*. Кроме того, чем инерционнее детектор, тем совершеннее может быть разделение каналов при детектировании и тем меньше возникающие нелинейные искажения.

Сказанное иллюстрируется расчетными графиками на рис. 37. На рис. 37,*а* показана оптимальная величина $b_{опт}$ в зависимости от инерционности детектора, причем за меру инерционности взята величина ωRC. На рис. 37,*б* показано качество разделения каналов и нелинейные искажения при коэффициенте модуляции в обоих каналах, равном 0,6.

Из графиков видно, что, применяя полярный детектор с большой инерционностью, можно добиться практически полного разделения двух передаваемых сигналов и продетектировать их с малыми нелинейными искажениями. Практически это имеет место при величинах ωRC, больших, чем 3—5.

20. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЯРНО-МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Простейший метод получения полярно-модулированных колебаний показан на рис. 38. Лампы $Л_1$ и $Л_2$ работают в режиме B по управляющим сеткам, поэтому каждая из ламп пропускает только один полупериод напряжения несущей частоты. На третью сетку лампы $Л_1$ подается сигнал низкой частоты от первого канала. Полупериоды несущей частоты, которые пропускает эта лампа, оказываются модулированными по амплитуде сигналом первого канала. На третью сетку лампы $Л_2$ подается сигнал второго канала, который модулирует другие полупериоды несущей частоты. Между точками *а* и *б* образуется напряжение полярно-модулированных колебаний.

Такой полярный модулятор является несовершенным, так как дает заметные нелинейные искажения.

Наиболее совершенным является модулятор, в котором искусственно создается колебание, выражающееся формулой (7). В этом модуляторе складываются два колебания: разность низкочастотных сигналов обоих каналов и несущая частота, модулированная суммой

сигналов этих каналов. Блок-схема такого модулятора изображена на рис. 39.

Ценным свойством этого модулятора является возможность установки наивыгоднейшей величины коэффи-

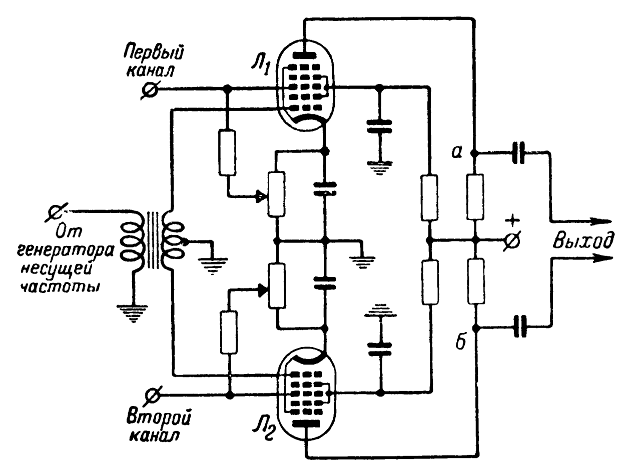


Рис. 38. Простейшая схема получения полярно-модулированных колебаний.

циента b. Некоторое осложнение здесь заключается в том, что для сохранения постоянства величины b или, иначе говоря, постоянства соотношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей колебаний тре-

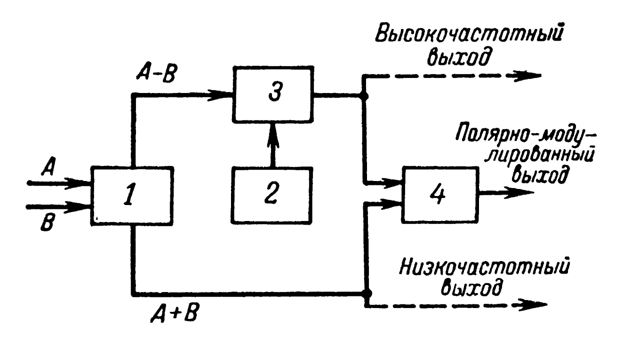


Рис. 39. Блок-схема полярного модулятора, содержащего один амплитудный модулятор.

1 — суммарно-разностный преобразователь; 2 — генератор несущей частоты; 3 — амплитудный модулятор; 4 — схема сложения.

буется высокая стабильность усиления во всех элементах тракта до блока сложения.

При проектировании устройств для получения и передачи полярно-модулированных колебаний следует учитывать, что последние содержат в своем спектре низкочастотную и высокочастотную части, скомбинированные в определенных амплитудных и фазовых соотношениях. Поэтому частотная характеристика цепей, по которым передаются полярно-модулированные колебания, должна быть горизонтальной, а фазовая — прямолинейной в пределах всего спектра колебаний. Недопустима установка на пути полярно-модулированных колебаний колебательных контуров, трансформаторов и других схем с избирательной характеристикой.

21. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

Как было отмечено в § 18, для излучения полярно-модулированных колебаний ими необходимо промодулировать несущую частоту передатчика. На рис. 40 изображена блок-схема устройства для излучения полярно-модулированных колебаний.

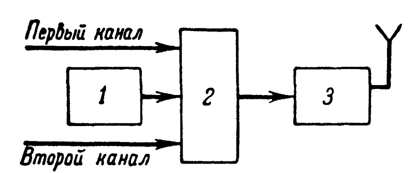


Рис. 40. Блок-схема радиопередачи с полярной модуляцией поднесущей частоты.

1 — генератор поднесущей частоты; *2* — полярный модулятор; *3* — передатчик.

С помощью полярной модуляции можно передать на одной несущей частоте два стереоканала (A и B), т. е. получить систему стереофонического радиовещания. Если применить частотную модуляцию несущей частоты, то такая система будет подобна системам стереофонического радиовещания для УКВ диапазона, использующим поднесущую частоту и рассмотренным в § 16.

Однако существенным преимуществом системы с полярной модуляцией является то, что оба стереофониче-

ских канала могут передаваться и приниматься без каких-либо промежуточных преобразований типа сложения — вычитания. Оба канала являются совершенно симметричными и поэтому имеют одинаковые частотные и фазовые характеристики. Наконец, прием и разделение каналов в приемнике производится при помощи весьма простого полярного детектора и не требует применения фильтров и суммирующе-вычитающих устройств. Блок-схема приемника полярно-модулированных колебаний отличается от обычного приемника УКВ ЧМ только наличием полярного детектора, следующего за частотным детектором.

Рассмотрим, как решается в системе с полярной модуляцией вопрос о совместимости. Из уравнения (7) видно, что низкочастотная часть спектра, которая будет принята обычным приемником, содержит разность сигналов обоих каналов. Однако если фазу одного из каналов повернуть на 180°, то вместо выражения (5) мы будем иметь:

$$U_A = U_m(1 + m_A \sin \Omega_A t);$$

$$U_B = U_m(1 - m_B \sin \Omega_B t),$$

что дает

$$U_A - U_B = U_m(m_A \sin \Omega_A t + m_B \sin \Omega_B t).$$

Таким образом, по низкой частоте будет передана сумма сигналов стереоканалов $A + B$, что обеспечивает полную совместимость с моноприемом. На поднесущей частоте будет передана информация

$$U_A + U_B = U_m(2 + m_A \sin \Omega_A t - m_B \sin \Omega_B t),$$

т. е. разность сигналов стереоканалов.

Величина поднесущей частоты в системе с полярной модуляцией может быть выбрана меньшей, чем в любой другой системе, использующей поднесущую частоту. Это объясняется тем, что в системе с полярной модуляцией нигде не нужно отфильтровывать поднесущую частоту от звуковой. Поэтому нижний предел величины поднесущей частоты определяется верхней границей звуковых частот, которые должна воспроизводить система.

Из теории информации известно, что несущая частота должна по крайней мере в 2 раза превышать верхнюю

модулирующую частоту. При верхнем пределе воспроизводимых звуковых частот, равном 15 *кгц*, поднесущая частота должна быть порядка 30 *кгц*. Бо́льшая величина поднесущей частоты невыгодна, так как при этом расширяется спектр частот, занимаемый передачей. В отечественной системе стереофонического радиовещания с полярной модуляцией поднесущая частота выбрана равной 31,25 *кгц*.

Рассмотрим, какие параметры полярно-модулированного колебания соответствуют поднесущей частоте 31,25 *кгц*.

Для того чтобы при детектировании не могли иметь место нелинейные искажения из-за комплексности нагрузки для токов звуковой частоты, необходимо выполнить следующее соотношение:

$$\Omega_в RC \leqslant 1{,}5,$$

где R и C — сопротивление и емкость в схеме (рис. 36);
$\Omega_в$ — верхняя модулирующая частота.

Тогда допустимая инерционность полярного детектора может быть определена из выражения

$$\omega RC \leqslant 1{,}5 \frac{\omega}{\Omega_в}.$$

Величину $\Omega_в$ можно принять равной половине граничной звуковой частоты 15 *кгц*, так как для более высоких частот составляющие нелинейных искажений будут лежать выше диапазона воспроизводимых частот и не будут услышаны. При $\Omega_в = 7{,}5$ *кгц* и $\omega = 31{,}25$ *кгц* получаем: $(\omega RC)_{макс} = 6$. Из графика на рис. 37,*а* определяем для этого случая оптимальную величину коэффициента $b \approx 1{,}05$, что близко к $b = 1$, характеризующей «чистое» полярно-модулированное колебание. Из графика на рис. 37,*б* находим величину переходного затухания β между каналами порядка 55 *дб*, что значительно лучше требований, предъявляемых к системе стереовещания. Нелинейные искажения в этом случае при $m = 0{,}6$ не превышают 0,22%.

Осциллограмма полярно-модулированных колебаний при $b = 1{,}05$ для случая, когда модуляция в канале *A* отсутствует, имеет вид, подобный изображенному на рис. 35,*б*.

Система стереофонического радиовещания не должна создавать помех другим УКВ ЧМ станциям, передающим монофоническую программу. Теоретическое рассмотрение показывает, что при использовании полярной модуляции с поднесущей частотой 31,25 *кгц* мешающее действие во всяком случае не выше, чем у радиостанции, ведущей обычную передачу.

Интересной особенностью системы стереофонического радиовещания с полярной модуляцией является то, что изменение поднесущей частоты в довольно широких пределах никак не отражается на приеме, так как полярный детектор не содержит никаких избирательных элементов. Благодаря этому можно не принимать никаких мер к стабилизации величины поднесущей частоты. Следует, однако, учесть, что при работе ряда станций на разных, но близких по величине поднесущих частотах в приемнике могут прослушиваться биения различных поднесущих частот. Поэтому при широком внедрении стереофонического радиовещания потребуется, очевидно, жесткая фиксация поднесущей частоты.

22. ПЕРЕДАЮЩАЯ АППАРАТУРА

Блок-схема аппаратуры передающей части системы стереофонического радиовещания с полярной модуляцией изображена на рис. 41. В состав аппаратуры входят соединительные линии от студии, полярный модулятор, возбудитель, передатчик и контрольное устройство.

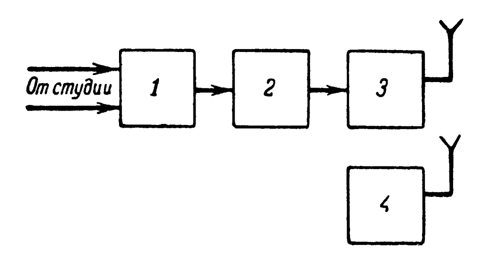


Рис. 41. Блок-схема передающего тракта стереофонического радиовещания с полярной модуляцией.

1 — полярный модулятор; *2* — возбудитель частотно-модулированных колебаний; *3* — передатчик; *4* — контрольное устройство.

Соединительные линии обоих стереоканалов не должны различаться более чем на 2 *дб* по частотной характеристике и более чем на 10 *мксек* по времени прохождения сигналов. Эти требования относятся также к линейным усилителям, имеющимся в начале или конце линий. Идентичности характеристик линий можно достигнуть посредством частотных и фазовых корректоров, размещенных на концах линий. При больших расстояниях между студией и радиостанцией имеет смысл транслировать программу на радиостанцию с помощью вспомогательных маломощных радиопередатчиков.

Полярный модулятор следует строить по схеме, показанной на рис. 38.

Возбудитель для стереофонического радиовещания с полярной модуляцией отличается тем, что несущая частота модулируется в нем гораздо более широким спектром, чем при монофоническом вещании. Если при монофоническом вещании верхняя граничная частота модуляции составляет 15 *кгц*, то при стереофоническом радиовещании она увеличивается до 31,25+15=
=46,25 *кгц*.

На отечественных УКВ ЧМ станциях имеется три типа возбудителей: 1) на реактивных лампах, 2) фазовые и 3) импульсно-фазовые.

Возбудители на реактивных лампах являются в принципе широкополосными. Поэтому переход на стереофоническое радиовещание в таких возбудителях не требует существенных переделок. Необходимо лишь добавить коммутирующее устройство, позволяющее включать выход полярного модулятора на вход реактивных ламп.

Сложнее осуществляется переход на стереофоническое радиовещание в случае фазового или импульсно-фазового возбудителя. Стандартные возбудители этих типов не могут непосредственно модулироваться спектром частот до 50 *кгц*. В этом случае приходится модулировать передатчик по схеме, показанной на рис. 42. Здесь звуковая часть спектра (суммарный сигнал) модулирует возбудитель обычным путем. Поднесущая частота, модулированная разностным сигналом, подается на дополнительный частотный (фазовый) модулятор, который располагается на выходе возбудителя и создает дополнительную частотную модуляцию передатчика.

Если модуляция от возбудителя и от дополнительного модулятора суммируется в соответствующих амплитудных и фазовых соотношениях, то в пространство передается несущая частота, модулированная по частоте полярно-модулированными колебаниями.

Дополнительный модулятор представляет собой одну или две реактивных лампы в двухтактной схеме. Реактивная лампа изменяет в соответствии с модулирующим сигналом резонансную частоту контура, а следовательно,

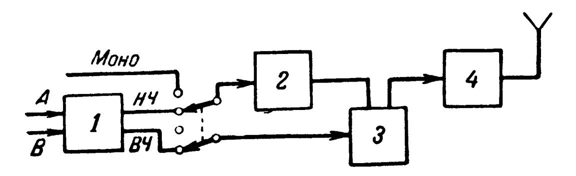


Рис. 42. Блок-схема передающей части при использовании фазового или импульсно-фазового возбудителя.

1 — полярный модулятор; *2* — возбудитель; *3* — дополнительный модулятор; *4* — передатчик.

и сдвиг по фазе колебаний несущей частоты, поступающих на этот контур с возбудителя. Модулятор содержит на входе интегрирующую цепь, необходимую для преобразования фазовой модуляции в частотную.

Тракт передатчика при переходе на стереофоническое радиовещание остается, как правило, без изменений. Для неискаженной передачи полярно-модулированных колебаний необходимо лишь, чтобы ширина полосы пропускания тракта была не менее чем 120 *кгц*. Обычно это требование выполняется. В противном случае приходится несколько увеличивать затухание входного контура передатчика (до утроителей частоты).

Контрольное устройство должно содержать следующие блоки: девиометр, детектор, измеритель амплитудной модуляции, измеритель нелинейных искажений и вольтметр.

Девиометр для измерения девиации несущей частоты отличается от обычных полосой пропускания по низкой частоте (до 50 *кгц*). При принятой у нас максимальной девиации частоты ±50 *гц*, считая максимальный коэффициент амплитудной модуляции поднесущей частоты равным 0,9, получаем значение девиации частоты при

прохождении немодулированной поднесущей, равное 26,5 *кгц*. Это значение и должно примерно поддерживаться во время стереофонической передачи.

Контрольный полярный детектор должен производить детектирование полярно-модулированных колебаний с малыми нелинейными искажениями и должен иметь параметры (инерционность, внутреннее сопротивление), соответствующие параметрам полярных детекторов, установленных в стереофонических радиовещательных приемниках.

Измеритель амплитудной модуляции, служащий для измерения коэффициента модуляции поднесущей частоты в каждом из стереоканалов, а также для измерения уровня шумов (желательно иметь также индикатор наличия перемодуляции), отличается от обычных низкой несущей частотой, равной 31,25 *кгц* и всего лишь вдвое превышающей верхнюю модулирующую частоту.

Вольтметр с фильтром необходим для измерения переходного затухания между каналами.

23. СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ СИСТЕМАМИ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

В настоящем параграфе производится краткое сравнение системы стереофонического радиовещания с полярной модуляцией с другими системами стереофонического радиовещания в УКВ диапазоне, использующими поднесущую частоту.

Потери в громкости при моноприеме стереопередачи. При стереофонической радиопередаче с использованием поднесущей частоты часть энергии тратится на передачу надзвуковой части спектра — модулированной поднесущей частоты. Поэтому монофонический приемник, использующий лишь звуковую часть спектра, принимает стереопередачу с меньшей громкостью.

Если для поднесущей частоты отводится половина общей девиации частоты, то на долю низкой частоты остается также половина общей девиации. При этом громкость приема по сравнению с обычной передачей падает в 2 раза, т. е. на 6 *дб*. Именно так обстоит дело в суммарно-разностной системе Кросби, где девиация делится пополам между низкочастотной и надзвуковой частями спектра. Такие же результаты получаются для

системы с полярной модуляцией, где доля девиации, приходящаяся на низкочастотную часть спектра, составляет величину $\alpha = 1/1 + b$. При $b = 1{,}05$ получаем $\alpha \approx 0{,}5$, т. е. ослабление на 6 *дб*.

В системе Холстеда для низкочастотной части спектра отводится 70% общей девиации. Таким образом, громкость при моноприеме оказывается ослабленной всего на 30%, т. е. на 3 *дб*. Однако практически потери громкости оказываются гораздо большими, так как на низкой частоте передается не сбалансированный монофонический сигнал $A+B$, а комбинация $2A—B = A+(A—B)$. При воспроизведении звука от источника, расположенного посередине сцены, т. е. при $A = B$, часть сигнала $A—B$ будет скомпенсирована и только треть общей девиации будет использована моноприемником полезно. Это создает ослабление еще на 10 *дб*. В среднем, учитывая статистические свойства сигнала, можно считать, что потеря громкости при передаче по методу Холстеда также составляет 6—7 *дб*.

Таким образом, рассмотренные системы стереофонического радиовещания примерно равноценны по потере громкости при моноприеме стереопередачи.

На больших расстояниях, а также при приеме на внутреннюю антенну громкость моноприема стереопередачи может оказаться недостаточной. С этим приходится мириться, учитывая большие преимущества стереофонического радиовещания. Этот недостаток, однако, будет устранен при выпуске стереофонических приемников, обладающих повышенной чувствительностью.

Уменьшение отношения сигнал/шум при приеме стереопередачи. При стереофонической радиопередаче с использованием поднесущей частоты отношение сигнал/шум на выходе стереоприемника оказывается меньшим, чем при приеме обычной передачи в тех же условиях.

Как известно, при приеме частотно-модулированных колебаний частотный спектр шумов на выходе радиоприемника не является равномерным. Интенсивность шумов растет с увеличением частоты, как показано на рис. 43.

При обычной радиопередаче через тракт низкой частоты проходят шумовые составляющие, расположенные на участке до $F_в$ — верхней границы полосы пропу-

скания тракта низкой частоты. Поэтому интенсивность шумов пропорциональна площади треугольника *ОАБ*.

При стереофонической радиопередаче часть энергии передается на поднесущей частоте $f_п$ в полосе пропускания от $f_п - F_в$ до $f_п + F_в$. Шумы, отвечающие этой части спектра, могут быть представлены площадью трапеции

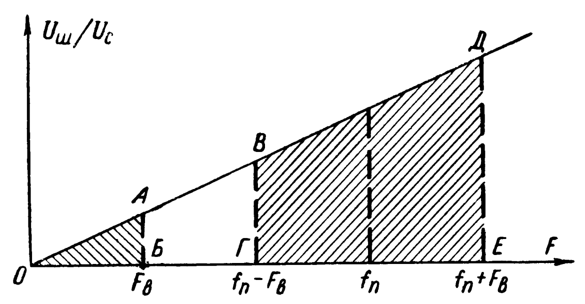


Рис. 43. Частотный спектр шумов при приеме частотно-модулированных колебаний.

ВГДЕ. В результате напряжение шумов на выходе стереофонического радиоприемника всегда оказывается увеличенным по сравнению с обычным приемником. Это увеличение тем больше, чем выше значение поднесущей частоты.

При обычной радиопередаче отношение сигнал/шум на выходе УКВ ЧМ приемника определяется по формуле

$$\frac{U_с}{U_ш} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}m}\sqrt{\frac{\Delta f^3}{F_в^3}}, \qquad (12)$$

где Δf — полоса пропускания тракта промежуточной частоты приемника;

m — коэффициент модуляции сигнала шумами до амплитудного ограничителя.

Можно показать, что при приеме полярно-модулированных колебаний это соотношение заменяется другим:

$$\frac{U_с}{U_ш} = \frac{1}{4\sqrt{2}m} \cdot \frac{F_в}{f_п}\sqrt{\frac{\Delta f^3}{F_в^3}}. \qquad (13)$$

Сравнение выражений (12) и (13) показывает, что при равных полосах пропускания приемников и подне-

сущей частоте, вдвое превышающей верхнюю звуковую частоту, проигрыш в отношении сигнал/шум составляет 17 *дб* (7 раз).

Аналогичные подсчеты, произведенные для системы Кросби с приведением ее к принятой в Советском Союзе максимальной девиации частоты 50 *кгц* дают ухудшение отношения сигнал/шум по сравнению с приемом обычной радиопередачи, равное 15 *дб* (5,6 раза).

Таким образом, обе системы стереофонического радиовещания и в этом отношении примерно равноценны.

Для системы Холстеда соотношения сигнал/шум получаются существенно худшими, чем для двух рассмотренных выше систем.

Качество стереовоспроизведения. Важным преимуществом системы с полярной модуляцией является высококачественное стереофоническое воспроизведение, которое обеспечивается хорошим разделением каналов и полной идентичностью их характеристик.

В суммарно-разностной системе, как уже указывалось, трудно получить хорошее разделение каналов и весьма сложной задачей является достижение идентичности характеристик сигналов, передаваемых на низкой и поднесущей частотах. Что касается системы Холстеда, то здесь не приходится говорить о высоком качестве воспроизведения так как степень разделения стереоканалов недостаточна, а кроме того, каналы различаются по характеристикам и, в частности, по шумам.

Стоимость стереофонического радиоприемника. По простоте и дешевизне стереофонического радиоприемника система с полярной модуляцией находится вне конкуренции. Полярный детектор настолько прост и дешев, что добавление его в стереорадиолу, предназначенную для воспроизведения стереофонических грамзаписей, практически не влияет на стоимость стереорадиолы.

Преимущества полярной модуляции особенно ярко выявляются, если рассмотреть стоимость приставки к обычному приемнику для разделения стереофонических каналов. Такая приставка для приема по суммарно-разностной системе Кросби содержит 4—5 ламп и собственный источник питания. Аналогичная приставка для приема стереопередач с полярной модуляцией содер-

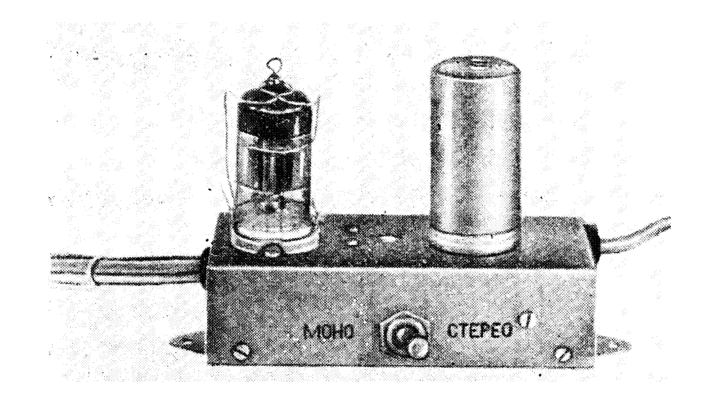


Рис. 52. Приставка — полярный детектор.

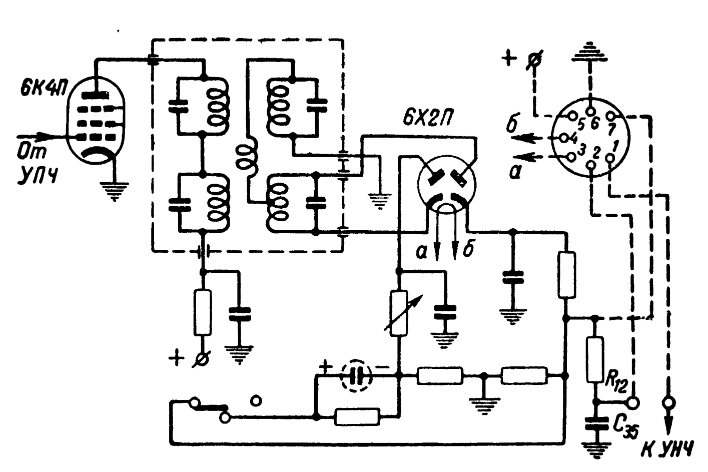


Рис. 53. Подключение приставки—полярного. детектора к приемнику „Байкал“.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ РАДИОПРИЕМНИКИ И РАДИОЛЫ

24. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

До появления стереофонического радиовещания стереорадиолой называли обычный монофонический приемник с устройством для воспроизведения стереофонических грамзаписей или магнитных записей. С появлением стереофонического радиовещания понятие «стереорадиола» расширилось. Теперь так называют радиолу, которая, кроме воспроизведения стереофонических записей, позволяет принимать стереофонические радиопередачи. Аналогично понятию «стереорадиола» появилось и понятие «стереоприемник», т. е. радиоприемник, позволяющий принимать передачи стереофонического радиовещания.

Так как в настоящее время у потребителей имеется большое количество монофонической аппаратуры, естественным было стремление разработать дополнительные блоки (приставки) к этой аппаратуре, которые позволили бы с минимальными затратами получить стереофоническое звучание.

В одном из вариантов использования обычного приемника для приема стереофонических радиопередач слушателю следует приобрести дополнительный тракт низкой частоты, стоимость которого не будет превышать 25%[1] стоимости приемника, и декодирующее устройство, стоимость которого ничтожна по сравнению со стоимостью остальной аппаратуры. Если у слушателя имеется второй тракт низкой частоты (в приемнике, телевизоре, проигрывателе), то он может ограничиться приобретением только декодирующего устройства.

В другом варианте тракт низкой частоты самого приемника не используется. Сигнал после разделения стереоканалов подается на стереоусилитель и две акустические системы. Этот вариант обходится слушателю дороже, но является выгодным в том случае, когда монофонический приемник имеет тракт низкой частоты невысокого качества. В частности, использование такого варианта, как правило, рационально при приеме стереофонической радиопередачи на телевизор. Дополнительным преимуществом варианта со стереоусилителем

является возможность получения одинакового качества воспроизведения по обоим стереоканалам.

В последнее время все шире используется так называемая блочная компоновка домашней радиоаппаратуры. В этом случае потребитель постепенно приобретает отдельные конструктивно самостоятельные блоки и из них комплектует ту или иную необходимую ему аппаратуру.

Такими блоками являются: 1) настроечное устройство, т. е. высокочастотный тракт радиоприемника, заканчивающийся детектором; 2) усилитель низкой частоты (монофонический или стереофонический); 3) акустическая система (монофоническая или стереофоническая); 4) низкочастотный агрегат, представляющий собой комбинацию усилителя низкой частоты с акустической системой (он может быть как монофоническим, так и стереофоническим); 5) декодирующее устройство для приема стереофонических радиопередач (приставка к приемнику или настроечному устройству); 6) проигрыватель для воспроизведения грамзаписей (монофонических или стереофонических); 7) магнитофон (монофонический или стереофонический).

Блочная компоновка радиоаппаратуры позволяет слушателю постепенно приобрести высококачественное оборудование для воспроизведения звука. Этот метод предполагается в ближайшие годы широко развивать в Советском Союзе.

25. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОПРИЕМНИКА

Высокочастотный тракт УКВ ЧМ стереофонического радиоприемника содержит УКВ блок, который состит из усилителя высокой частоты, гетеродина и смесителя, блок усиления промежуточной частоты и частотный детектор. В принципе эта часть приемника ничем не отличается от высокочастотного тракта обычного, монофонического приемника с УКВ диапазоном.

Рассмотрим основные параметры, которыми должен обладать высокочастотный тракт стереофонического приемника.

Реальная чувствительность. Под реальной чувствительностью приемника понимается минимальная э. д. с.

на входе, при которой на выходе получается мощность 50 *мвт* в случае модуляции частотой 1 000 *гц* при девиации частоты ±15 *кгц* и при которой превышение сигнала над шумами составляет не менее 20 *дб*.

Так как в современных супергетеродинных приемниках усиление высокочастотного тракта всегда может быть получено достаточно высоким, то величина реальной чувствительности, как правило, определяется собственными шумами приемника.

При проектировании стереофонического приемника желательно сохранить такое же соотношение сигнал/шум, как при моноприеме. Поэтому реальная чувствительность стереоприемника по сравнению с обычным должна быть увеличена на 7—10 *дб* (см. § 23). Такое увеличение чувствительности может быть достигнуто применением малошумящих схем входных цепей, например использованием на входе так называемой каскодной схемы.

Существует и другой путь улучшения отношения сигнал/шум на входе приемника, заключающийся в увеличении эффективности антенны на 7—10 *дб*. При этом чувствительность самого радиоприемника не улучшается, но увеличивается величина сигнала на входе приемника. Улучшение отношения сигнал/шум на 15—20 *дб* имеет место, например, при замене внутренней антенны комнатной в виде полуволнового диполя. Дополнительного улучшения отношения сигнал/шум вплоть до 20 *дб* можно добиться, заменив комнатную антенну наружной.

Ширина полосы пропускания. Полоса пропускания высокочастотного тракта приемника в УКВ диапазоне определяется шириной полосы пропускания усилителя промежуточной частоты. Она должна быть достаточной, чтобы тракт не вносил нелинейных искажений в частотно-модулированный сигнал.

Так, например, для приемника высшего класса минимально допустимая полоса пропускания тракта промежуточной частоты составляет примерно 85 *кгц*. К полученной величине полосы пропускания должен быть добавлен запас 30—40 *кгц* на нестабильность частоты гетеродина. Таким образом, получается величина около 120 *кгц*, которая и выдерживается в приемниках высшего класса.

Для монофонических приемников других классов примерная величина минимально допустимой полосы пропускания составляет 120 *кгц* для приемников первого и второго классов и 100 *кгц* для приемников третьего класса. В случае стереофонического радиовещания при использовании поднесущей частоты спектр модулирующих частот существенно расширяется. Казалось бы это должно привести к расширению требуемой полосы пропускания высокочастотного тракта. Однако теория и эксперимент показывают, что в известных пределах частот модуляции это не так.

На рис. 44 показана зависимость коэффициента нелинейных искажений от полосы пропускания высокочастотного тракта для приемника высшего класса при обычной и полярной модуляции. Как видно из графика, необходимая полоса пропускания при стереофонической передаче не превышает величины, необходимой для приема обычного радиовещания. Такой, с первого взгляда неожиданный, результат является вполне закономерным. Дело в том, что спектр частотно-модулированного колебания сужается при увеличении числа модулирующих тонов. Так как спектр полярно-модулированного колебания даже при чисто синусоидальной модуляции является сложным спектром, то спектр несущей, модулированной по частоте полярно-модулированным колебанием, может оказаться более компактным, чем при обычном радиовещании. Это происходит, когда наивысшая частота модуляции меньше, чем максимальная девиация несущей, что практически имеет место при стереовещании с полярной модуляцией (максимальная девиация частоты 50 *кгц*, наивысшая частота модуляции 47 *кгц*).

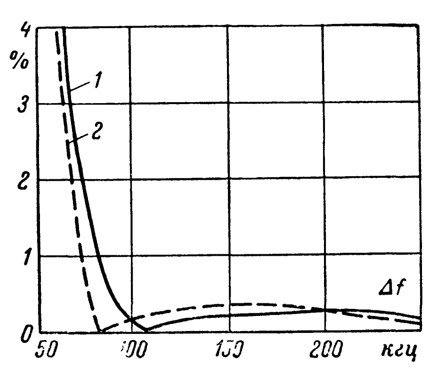


Рис. 44. Зависимость коэффициента нелинейных искажений $K_н$ от полосы пропускания Δf высокочастотного тракта приемника.

1 — при монофонической передаче; *2* — при стереофонической передаче.

Таким образом, полоса пропускания высокочастотного тракта стереофонического приемника может оставаться такой же, как в обычных приемниках. Это позволяет использовать для стереоприема обычные радиовещательные приемники с приставками.

Избирательность. Под избирательностью радиоприемника в УКВ диапазоне понимается ослабление приема при расстройке на определенную величину (обычно, 250 *кгц*) по сравнению с приемом при точной настройке. Избирательность определяет помехоустойчивость приемника при воздействии соседней мешающей станции. Учитывая интенсивное развитие УКВ ЧМ вещания в Советском Союзе, следует уже сейчас принимать меры против помех от соседних мешающих УКВ ЧМ каналов.

Как уже указывалось, при стереофоническом вещании имеется ухудшение отношения сигнал/шум на 17 *дб*. Это ухудшение эквивалентно снижению помехоустойчивости приемника и полностью проявляется при действии мешающей станции.

На рис. 45 показаны экспериментальные кривые, характеризующие действие мешающей станции при обычном и стереофоническом вещании. На графике по оси абсцисс отложена расстройка, а по оси ординат отношение э. д. с. на входе приемника от полезной и мешающей станций ($U_с/U_п$), при котором мешающее действие оказывается явно заметным. За меру заметности принят сигнал мешающей станции на выходе приемника, составляющий 3% (—30 *дб*) от полезного сигнала.

Как видно из кривых, мешающее действие при стереопередаче примерно на 17 *дб* сильнее, чем при обычном вещании. Таким образом, избирательность стереоприемника должна быть увеличена по сравнению с моноприемником того же класса.

Увеличение избирательности приемника может быть достигнуто увеличением числа контуров в тракте промежуточной частоты путем, например, использования в одной из каскадов трехконтурного фильтра промежуточной частоты.

Точность настройки. В радиовещательных приемниках точность настройки в УКВ диапазоне не контролируется. Оптический индикатор настройки, имеющийся в приемнике, показывает настройку на максимум кривой избирательности приемника. Это не гарантирует настройки

на середину прямолинейной части частотного детектора. Кроме того, при сильном сигнале настройка по оптическому индикатору может быть весьма расплывчатой. Практика показывает, что многие очень часто слушают передачу в УКВ диапазоне с сильной расстройкой, создающей заметные нелинейные искажения.

Особое значение точность настройки приемника приобретает при приеме стереофонического радиовещания.

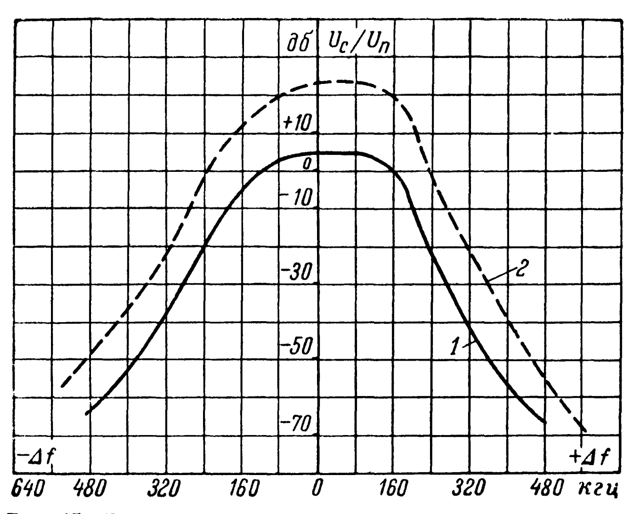


Рис. 45. Действие мешающей станции в УКВ диапазоне при различных расстройках.

1 — на станцию, передающую монопрограмму, *2* — на станцию, передающую стереопрограмму.

Неточная настройка, а также работа в области побочных настроек могут привести к нелинейным искажениям, уменьшению переходного затухания между каналами и даже к перемене каналов местами. Эти искажения стереопередачи не всегда могут быть замечены неискушенным слушателем.

На рис. 46 показаны три типичных случая приема полярно-модулированного колебания. На рис. 46,*а* изображен случай точной настройки в центр *S* кривой. При этом полярно-модулированное колебание проходит через частотный детектор без искажений.

На рис. 46,*б* настройка смещена в сторону. При этом канал *А* детектируется нормально, а канал *В* попадает

на побочную ветвь характеристики частотного детектора. В результате меняется полярность полупериодов поднесущей частоты, несущих информацию канала *B*, при этом резко падает переходное затухание и появляются сильные искажения.

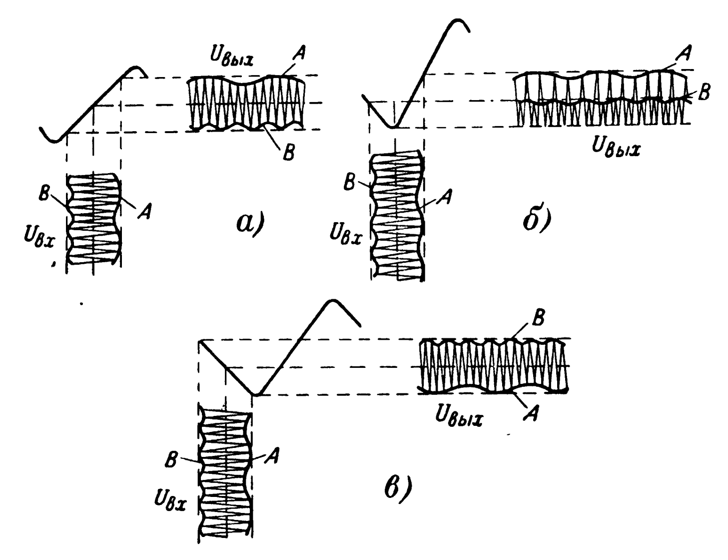


Рис. 46 Влияние расстройки приемника на прием полярно-модулированных колебаний.

а — точная настройка; *б* — расстройка; *в* — сильная расстройка.

На рис. 46,*в* изображен случай сильной расстройки приемника. В этом случае весь сигнал попадает на побочную ветвь *S*-кривой. Каналы по полярности меняются местами, что приводит к перемене их местами после полярного детектора.

В качестве индикатора точной настройки проще всего использовать микроамперметр постоянного тока на 50—200 *мка* с нулем, расположенным посередине шкалы. На рис. 47 показано включение прибора в схему симметричного дробного детектора. Точной настройке приемника соответствует равенство напряжений на плечах детектора и, следовательно, нулевое показание прибора.

Стабильность настройки. Под стабильностью настройки понимается степень сохранения точной настройки во

время работы. Нарушение настройки ведет к необходимости периодических подстроек приемника. Это очень неприятно при прослушивании музыкальных и особенно стереофонических передач. Поэтому стабильности настройки стереофонического приемника должно быть уделено серьезное внимание.

В УКВ диапазоне стабильность настройки определяется почти исключительно стабильностью частоты ге-

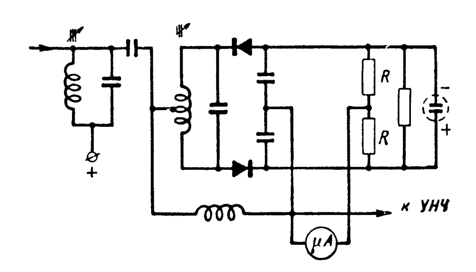


Рис. 47. Схема контроля точной настройки приемника в УКВ диапазоне. $R = 100 \div 200$ *ком.*

теродина. Для получения отклонений частоты не более 30 *кгц* стабильность гетеродина должна составлять $5 \cdot 10^{-4}$, или 0,05%. Особенно велик уход частоты гетеродина в первые минуты работы приемника, когда температура деталей резко меняется. Но и после этого уход частоты гетеродина может быть заметен. По нормам на параметры радиовещательных приемников с УКВ диапазоном даже в приемниках первого класса уход частоты гетеродина в течение часа (не считая первых 5 *мин* работы) может составлять 50 *кгц*.

Радикальным средством стабилизации настройки УКВ ЧМ приемника является применение автоматической подстройки частоты гетеродина, которую желательно предусмотреть в стереоприемнике.

Наибольшее распространение получила схема автоподстройки, основанная на изменении междуэлектродной емкости полупроводникового диода при изменении величины приложенного к нему постоянного напряжения.

На рис. 48 показан один из вариантов такой схемы. Управляющее напряжение отрицательной полярности

снимается со средней точки дробного детектора и подается на катод диода *Д*. Междуэлектродная емкость диода оказывается включенной в контур гетеродина параллельно основной емкости контура. Для установки начальной рабочей точки диода через сопротивление *R* подается начальное положительное смещение. При изменении управляющего напряжения (в случае расстройки приемника) изменяется междуэлектродная емкость дио-

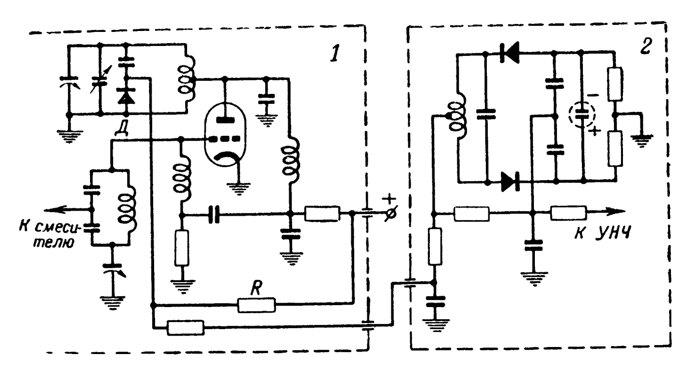


Рис. 48. Схема автоподстройки частоты гетеродина в УКВ ЧМ приемнике.

1 — УКВ головка; *2* — дробный детектор.

да и частота гетеродина сдвигается на некоторую величину, компенсируя образовавшуюся расстройку. Еще лучшие результаты дает схема с применением дополнительного каскада усиления управляющего постоянного напряжения.

Применение автоподстройки частоты гетеродина в приемнике не только гарантирует сохранение правильной настройки, но позволяет обойтись без индикатора настройки.

Остальные параметры высокочастотного тракта стереофонического радиоприемника не отличаются от параметров обычного радиоприемника с УКВ диапазоном.

26. ПОЛЯРНЫЙ ДЕТЕКТОР

Полярный детектор является неотъемлемой частью стереоприемника. Однако он может выпускаться и в виде отдельной приставки к обычному монофоническому приемнику.

Основной функцией полярного детектора является разделение стереофонических каналов путем детектирования полярно-модулированных колебаний. Вместе с тем он обычно выполняет дополнительные функции: усиления полярно-модулированных колебаний, коррекции частотной характеристики тракта поднесущей частоты и компенсации предискажений, введенных на передающем конце для увеличения помехоустойчивости.

Усиление полярно-модулированных колебаний необходимо потому, что при полярной модуляции на каждый канал отводится лишь половина полезной девиации частоты.

Для получения такой же громкости каждого канала, как при моноприеме, необходимо иметь дополнительный коэффициент усиления, равный двум. Практически можно рекомендовать усиление в 3—4 раза для создания достаточных напряжений на полярном детекторе.

Коррекция частотных искажений производится для того, чтобы создать некоторый подъем частотной характеристики в области поднесущей частоты. Это позволяет ликвидировать завал частотной характеристики в этой области, если он имеется в других элементах тракта.

Кроме того, при наличии такой коррекции можно передавать «чистые» полярно-модулированные колебания. Необходимое увеличение коэффициента b на 4% (см. § 21) осуществляется цепью коррекции в полярном детекторе.

Простейшим полярным детектором является схема, изображенная на рис. 36. При $R = 33$ *ком* и $C = 1\,000$ *пф* детектор дает разделение каналов с переходным затуханием порядка 20 *дб* на середине и 10—15 *дб* на краях звукового диапазона. Эта простейшая схема обладает рядом недостатков, важнейшим из которых является большая нелинейность при малых напряжениях на выходе частотного детектора. Поэтому такая схема применима только при наличии сильного поля принимаемой станции.

На рис. 49 изображена более совершенная схема, обеспечивающая высокое качество приема. Схема содержит, кроме собственно полярного детектора, усилитель полярно-модулированных колебаний на левом по схеме

триоде лампы 6Н1П и катодный повторитель на правом триоде этой же лампы. На входе схемы имеется реостатно-емкостный делитель, позволяющий создать подъем частотной характеристики в области поднесущей частоты.

С помощью подстроечного конденсатора величина этого подъема может регулироваться. Необходимая установка подстроечного конденсатора производится при настройке полярного детектора и в эксплуатации не повторяется.

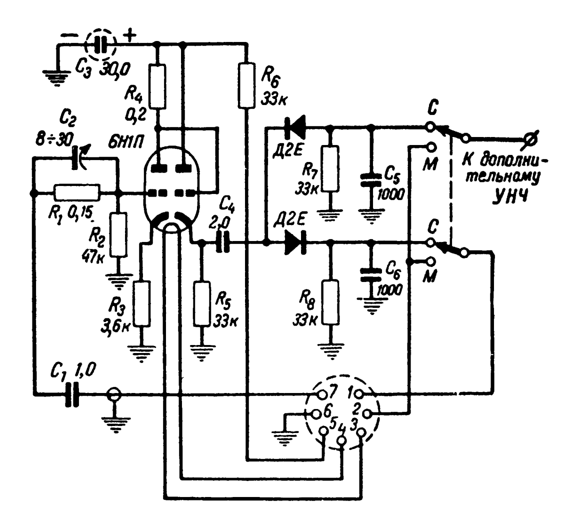


Рис. 49. Схема полярного детектора с усилителем поднесущей частоты.

Схема на рис. 49 является типовой схемой, которая с небольшими изменениями может быть использована как в стереоприемниках, так и в виде отдельной приставки к обычному приемнику (см. § 28). Дальнейшим усовершенствованием этой схемы может быть введение П-образного фильтра верхних частот между усилителем и катодным повторителем. Фильтр не пропускает часто́ты, лежащие выше 50 *кгц*, и увеличивает устойчивость приемника к помехам от соседних станций, поэтому его применение может быть рекомендовано там, где наблюдаются такие помехи.

27. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Стереофонический усилитель может быть оформлен в виде отдельного самостоятельного агрегата или в виде низкочастотной части стереорадиолы или стереоприемника.

Блок-схема стереоусилителя в самом общем виде изображена на рис. 50. Усилитель имеет переключение «стерео-моно», сдвоенные регуляторы громкости и тембра, а также так называемый балансный регулятор *Б*, позволяющий уравнивать громкости в обоих стереоканалах или желательным образом изменять их соотношение.

Практика показывает, что достаточно иметь регулировку баланса в пределах ±6 *дб*, т. е. иметь возможность изменять усиление одного канала относительно другого в 4 раза.

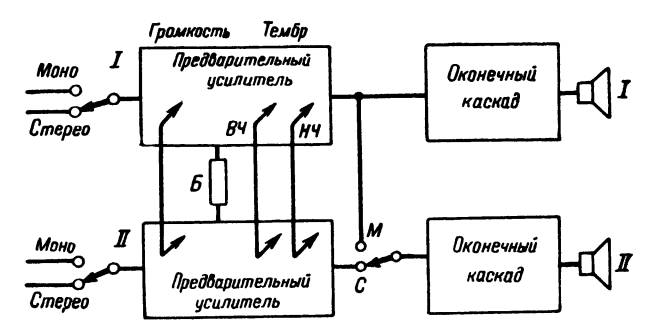


Рис. 50. Блок-схема стереоусилителя.

На рис. 51 приведены три наиболее распространенные схемы регулировки баланса.

Схема на рис. 51,*а* является обычной схемой регулировки усиления, но потенциометры в ней спарены так, что когда усиление в одном канале увеличивается, в другом оно уменьшается. Пределы регулировки баланса здесь очень велики, вплоть до выключения одного из каналов. Однако такая схема обладает существенным недостатком: чувствительность каждого канала здесь заметно снижается.

В схеме на рис. 51,*б* изменение усиления происходит за счет изменения величины противосвязи по току и ве-

личины смещения на сетке лампы. Здесь тоже имеет место некоторая потеря чувствительности, но это происходит за счет введения противосвязи, которая улучшает качественные показатели каскада. Преимуществом этой схемы является также отсутствие сдвоенного потенциометра и то, что регулятор расположен в низкоомной цепи катода. Для обычно применяющейся в каскаде предварительного усиления лампы 6Н2П величины $R_1=1{,}8$ *ком* и $R_3=4{,}7$ *ком* обеспечивают регулировку баланса в пределах свыше 12 *дб* (при анодной нагрузке 100—220 *ком*).

Действие схемы на рис. 51,*в* основано на изменении степени шунтирования анодной нагрузки одного из каскадов предварительного усиления. Величина R_3 выби-

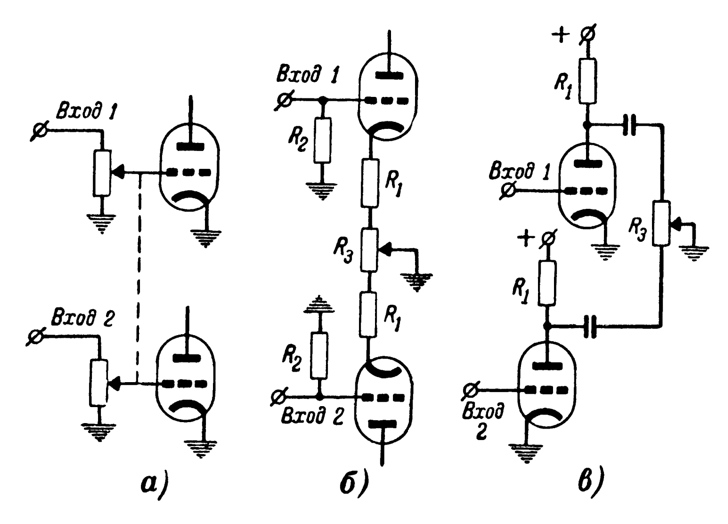


Рис. 51. Схемы регулировки стереобаланса.

рается в 10—20 раз больше, чем R_1. В этом случае введение регулировки баланса мало сказывается на чувствительности стереоусилителя.

Регулировка баланса производится либо на слух (субъективный стереобаланс), либо по прибору (объективный стереобаланс). При балансировке на слух слушатель размещается на средней линии между акусти-

ческими системами и по их звучанию определяет наличие баланса. Для облегчения такой регулировки в программу стереофонической радиопередачи или в стереозапись вводится соответствующий музыкальный и шумовой текст. Так как при установке баланса на слух слушатель находится на некотором расстоянии от усилителя, имеет смысл применять выносной регулятор баланса. Удобнее всего осуществлять его по схеме на рис. 53,*в*.

Установленный баланс усиления каналов не должен нарушаться при регулировке громкости. Поэтому регулировка громкости должна быть сдвоенной и разбаланс усиления не должен превышать 1,5—2 *дб* при всех положениях регулятора от максимальной громкости до уменьшенной на 20 *дб*. При очень малых громкостях сохранение баланса не так важно.

Баланс усиления каналов должен сохраняться на всех частотах звукового диапазона. Различие частотных характеристик каналов не должно превышать на краях диапазона 3—4 *дб*. Простейшим способом сохранения малого разбаланса частотных характеристик при регулировке тембра является применение ступенчатых регуляторов или так называемого т о н - р е г и с т р а с четырьмя положениями: «Речь», «Оркестр», «Джаз» и «Бас». При желании иметь плавные регулировки тембра следует либо подбирать спаренные потенциометры либо применять потенциометры с отводами.

При проектировании или приобретении стереофонического усилителя возникает вопрос о необходимой выходной мощности каждого из каналов. Так как при стереофоническом воспроизведении звук исходит одновременно из двух акустических систем, то можно приближенно считать, что среднее звуковое давление в точке слушания возрастает в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с монофоническим воспроизведением звука. Поэтому мощность каждого из каналов при стереовоспроизведении может быть в 1,4 раза меньшей. Если в обычном приемнике высшего класса усилитель низкой частоты имеет выходную мощность 6 *вт*, то в стереоприемнике того же класса стереоусилитель может иметь выходную мощность 4 *вт* на канал.

Переходное затухание между каналами в стереоусилителе должно быть во всяком случае не менее 30 *дб*. Обычно не представляет трудности получение

переходного затухания 40 *дб* и выше. Основным условием получения большого переходного затухания является хорошая развязка цепей питания и хорошая экранировка первых каскадов усилителя.

В стереоусилителях обычно предусматривается переключение в положение «моно». Это достигается либо параллельным включением обоих входов, либо параллельным включением оконечных каскадов. Последний способ предпочтительнее, так как в первом случае входное сопротивление усилителя снижается в 2 раза.

28. СХЕМА ПРИСТАВКИ ДЛЯ ПРИЕМА СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ РАДИОПЕРЕДАЧ

На рис. 52 показан внешний вид полярного детектора, оформленного в виде приставки к обычному радиоприемнику с УКВ диапазоном. Приставка собрана по схеме, изображенной на рис. 49. Детектор имеет шланг с разъемом для подключения к приемнику и кабель с вилкой для присоединения ко второму тракту низкой частоты.

Подключение цепей к разъему осуществляется согласно цоколевке, показаной на рис. 53, где приведен пример введения разъема в приемник «Байкал». При отсутствии приставки гнезда *1* и *2* разъема замыкаются перемычкой.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ДВУХКАНАЛЬНАЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ ЗВУКОЗАПИСЬ

Опыт стереофонического радиовещания в Советском Союзе и за рубежом показал, что наиболее целесообразно осуществлять его путем воспроизведения предварительно подготовленной стереофонической звукозаписи. В качестве носителя записи избрана магнитная лента шириной 6,25 *мм*, на которой располагаются две дорожки записи. Вне зависимости от того, по какой системе произведена данная запись (AB, XY или MS), одна дорожка содержит информацию о правой, а другая о ле-

Таблица 1

Сравниваемый параметр	Система с полярной модуляцией	Суммарно-разностная система Кросби	Система Холстеда
Метод распределения каналов	A / B	A + B / A — B	2A — B / 2B — A
Качество разделения каналов, *дб*	40	26	6
Наличие фазовых искажений	Нет	Есть	Есть
Совместимость	Полная	Полная	Неполная
Ослабление при моноприеме, *дб*	6	6	6—7
Идентичность каналов по нелинейным искажениям и шумам	Есть	Есть	Нет
Ухудшение отношения сигнал/шум, *дб*	17	15	3 (первый канал) 28 (второй канал)
Ориентировочная стоимость приставки для разделения стереоканалов (в относительных единицах)	1	10	12

жит всего одну лампу, которая в связи с очень малым потреблением энергии питается от источника, имеющегося в приемнике. Стоимость такой приставки во много раз меньше.

В табл. 1 приведены сводные данные, позволяющие сравнить качественные показания различных систем.

вой стороне звукового поля. В данной главе будут разобраны некоторые художественные и технические вопросы, относящиеся к проведению такой записи.

29. ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ ВОСПРИЯТИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ЗВУЧАНИЯ

Первое и главное впечатление на слушателя, привыкшего к монофонической звукопередаче и впервые услышавшего стереофоническую, оказывает возможность четкого определения месторасположения источников звука или их передвижений.

Важно отметить, что одной этой возможности еще недостаточно для создания полноценной стереофонии, хотя она и имеет большое значение. Это подтверждается характером восприятия стереофонического звучания профессиональными музыкантами, которые часто в очень малой степени реагируют на месторасположение источников звука, а обращают внимание на естественность общего звучания. При прослушивании стереофонических записей их ощущения весьма близки (по их утверждениям) к ощущениям, испытываемым ими при слушании непосредственного исполнения в хорошем концертном зале.

Указанная естественность стереофонического звучания определяется его следующими характерными особенностями: 1) четкостью и раздельностью звучания различных компонентов «звуковой картины» (различных инструментов, групп инструментов, солистов, групп голосов хора и т. п.); 2) «прозрачностью» звучания; 3) правильностью передачи тембров и акустической «окраски»; 4) возможностью услышать солиста в сопровождении оркестра без неестественного приближения солиста к слушателю, что неизбежно в монофонической звукопередаче; 5) передачей басовых звуков оркестра без излишней «гулкости»; 6) возможностью передать большой динамический диапазон звучания, не вызывая у слушателя неприятного ощущения от чрезмерной громкости при достаточно хорошей слышимости тихих звуков, что трудно достижимо в монофонической звукопередаче.

30. ВЫБОР ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЗАПИСИ

В зарубежной практике стереофонической звукозаписи часто использовались заглушенные студии и сту-

дии с уменьшенной против нормы реверберацией. Это объяснялось стремлением использовать в стереофонической звукозаписи только микрофоны давления с круговой характеристикой направленности, как наиболее близкие по своим свойствам к человеческому уху. Желательную акустическую окраску звучания обеспечивали применением искусственной реверберации. Подобная практика не могла привести к хорошим результатам хотя бы потому, что исполнение в заглушенных студиях ставит артистов в неестественные акустические условия, в которых они подчас не слышат достаточно хорошо друг друга и себя, и поэтому не могут обеспечить соответствующего качества исполнения. Исполнительский тонус при таких записях низок. Звучание стереозаписи, произведенной в заглушенной студии с применением искусственной реверберации, значительно отличается от естественного звучания в нормальных акустических условиях.

При стереофонической записи, в достаточной степени воссоздающей естественное звучание, едва ли имеет смысл прибегать к подобным искусственным приемам. Исключением являются определенные случаи, когда ставится целью достижение необычных звучаний, своеобразных и эффектных, пусть и не похожих на естественные. Поэтому следует считать, что помещение для стереофонической записи по своему объему и акустическим данным должно выбираться так же, как и при монофонической записи. Так как не всегда запись производится в оптимальных условиях, излишняя или недостаточная реверберация помещения может быть в некоторых пределах компенсирована выбором соответствующей системы записи, типов микрофонов, характеристик их направленности и, наконец, соответствующим расположением микрофонов относительно исполнителей.

31. ВЫБОР СИСТЕМЫ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ ПРИ ЗАПИСИ

В настоящее время очень трудно отдать предпочтение какой-либо из систем; каждая из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. В тех или иных акустических условиях и в зависимости от художественного материала, предназначенного для записи, может оказаться выгодным применение той или иной конкретной системы.

При выборе следует учитывать особенности каждой системы звукопередачи, изложенные в предыдущих параграфах.

Выше отмечались положительные качества систем XY и MS с электрическим регулированием акустической ширины и направления звука. К числу обстоятельств, затрудняющих пока широкое применение таких систем, является свойственное им ослабление стереофоничности и некоторая усложненность технических средств.

На основании имеющегося опыта можно сделать следующие рекомендации.

1. При записи камерной, симфонической, хоровой музыки, а также опер и ораторий целесообразно применять смешанные системы (AB и XY). В этом случае каждая из систем компенсирует недостатки другой.

2. Для записей танцевальной, эстрадной и легкой музыки рекомендуется применять многомикрофонную систему AB, а также системы XY и MS с электрическим регулированием акустической ширины и направления звука.

3. Для литературно-драматических записей наиболее предпочтительно применять системы XY и MS с электрическим регулированием акустической ширины и направления звука и систему XY без преобразования информации.

32. ТИПЫ МИКРОФОНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ЗВУКОПЕРЕДАЧИ, И ВАРИАНТЫ ИХ РАССТАНОВОК

Микрофоны в системе AB. В помещениях с обычной для монофонических записей реверберацией применяются однонаправленные микрофоны с кардиоидной характеристикой, располагаемые на достаточном расстоянии от исполнителей. Микрофоны предпочтительны малогабаритные, конденсаторного типа. Подъем на высоких частотах (выше 6—7 *кгц*) частотной характеристики микрофона весьма желателен. Микрофоны для применения их в паре должны быть одинаковы и соответственно подбираться по всем параметрам. Из отечественных микрофонов можно назвать динамические МД-59 и конденсаторные 19А-10 как пригодные к использованию в стереозаписи.

При записи по системе АВ расстояние между микрофонами выбирается очень тщательно; оно колеблется от 20 *см* до 1,5—2 *м* и определяется звукорежиссером экспериментальным путем с учетом особенностей системы АВ, рассмотренных в гл. 2. Высота расположения микрофонов, углы их наклона к плоскости звучания, направления осей максимальной чувствительности у левого и правого микрофонов могут быть различны.

Если применять микрофоны с круговой характеристикой направленности, то надо учитывать следующее:

1. При отдалении микрофонов от источников звука происходит повышение реверберации в записи.

2. При малом разнесении микрофонов (менее 20 *см*) разница в информациях, передаваемых левым и правым микрофонами, становится весьма незначительной. Представление о месторасположении отдельных источников звуков в такой записи почти отсутствует (звукопередача приближается к монофонической).

3. Для исключения дополнительных частотных искажений оси максимальной чувствительности микрофонов на высоких частотах надо ориентировать в разные стороны.

4. При удалении микрофонов от источников звуков звучание становится более «полным», но с менее выраженной возможностью локализовать источник звука.

При применении «восьмерочных» микрофонов необходимо учитывать, что в некоторых помещениях возможен прием отраженных звуковых волн со стороны обратных лепестков восьмерочных характеристик направленности, в то время как прямые волны принимаются микрофоном другого канала. Это явление может привести к смещению фиктивного источника звука при прослушивании и нарушению совместимости.

Для многомикрофонной системы АВ, кроме основной пары микрофонов, стереофонически передающих какую-то часть «звуковой картины», остальные микрофоны, подключаемые к левому и правому каналам, могут быть любого типа и характеристик. Они выбираются по тем же принципам, что и при монофонической звукопередаче.

Микрофоны в системе XY и MS. В системе XY возможно использование ленточных микрофонов, хотя

предпочтительнее применение конденсаторных микрофонов с малыми капсюлями.

При выборе характеристик направленности следует отдать предпочтение характеристикам в форме восьмерки; применение двух «кардиоид» дает худшую локализацию источников звука.

Существуют специальные стереомикрофоны, например МК-8 (ИРПА им. А. Попова) или SM-2 (Телефункен), в цилиндрическом корпусе которых смонтированы два микрофона, один из которых можно поворачивать относительно другого на 270°. В каждом из этих микрофонов предусмотрена возможность получения любой из характеристик направленности («кардиоиды», «восьмерки» и «круга»). Общую ось этих сдвоенных микрофонов необходимо направлять перпендикулярно к плоскости, в которой лежат направления на различные, принимаемые микрофонами источники звуков. Увеличение или уменьшение кажущейся ширины звукового изображения достигается соответственно приближением или удалением сдвоенного микрофона от источников звуков или путем рассмотренных ранее электрических регулировок.

Для работы по системе MS могут быть использованы такие же микрофоны, как и в системе XY, с характеристиками направленности, отвечающими требованиям данной системы. Количество одновременно применяемых в стереофонической записи микрофонов, так же как и в монофонической, должно быть разумно ограничено. Пользоваться дополнительными микрофонами следует в том случае, если информации, воспринимаемые этими микрофонами, отличаются от информаций, воспринимаемых другими микрофонами, и так, чтобы разницы путей звуковых волн при приеме одних и тех же источников звуков разными микрофонами не могли бы привести к искажениям.

Примеры расстановки микрофонов. На рис. 54 и 55 приведены схемы размещения исполнителей и расстановки микрофонов в различных случаях записи легкой музыки с применением нескольких микрофонов в каждом из каналов при системе AB.

Рис. 54 соответствует записи инструментального ансамбля. Запись происходила в студии объемом около 2000 $м^3$. Позади фортепиано *1* находился отгороженный двумя ширмами для акустической изоляции *2* кон-

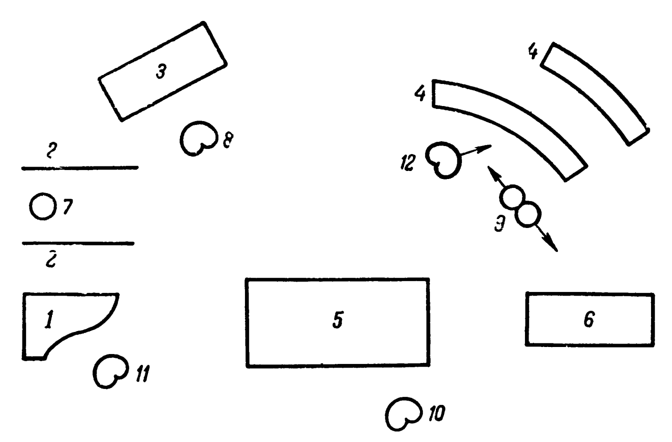


Рис. 54. Расположение исполнителей и расстановка микрофонов при записи легкой музыки.

1 — фортепиано; *2* — ширмы; *3* — ударные инструменты и гитара; *4* — духовые инструменты; *5* — скрипки; *6* — альты и виолончели; *7* — контрабас; *8* — первый кардиоидный микрофон правого канала; *9* — второй „восьмерочный“ микрофон правого канала; *10* — первый кардиоидный микрофон левого канала; *11* — второй кардиоидный микрофон левого канала; *12* — третий кардиоидный микрофон левого канала.

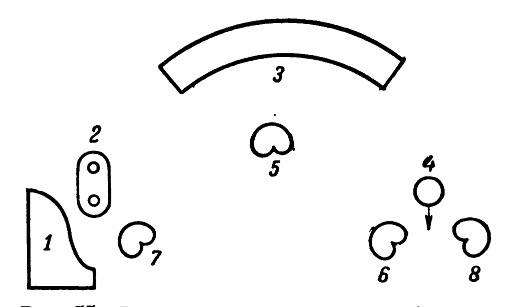


Рис. 55. Расположение исполнителей и расстановка микрофонов при записи вокально-инструментального ансамбля.

1 — фортепиано; *2* — контрабас и гитара; *3* — мужской хоровой ансамбль; *4* — солистка; *5* и *6* — первый и второй кардиоидные микрофоны правого канала; *7* и *8* — первый и второй кардиоидные микрофоны левого канала.

трабас *7*, за которым располагались ударные инструменты и гитара *3*. Микрофон *8* с характеристикой направленности в форме кардиоиды воспринимал звуки контрабаса, ударных инструментов и гитары и был подключен к правому каналу; скрипичная группа *5*, воспринятая «кардиоидным» микрофоном *10*, «подавалась» на

левый канал. Группа духовых инструментов, располагавшаяся в два ряда, воспроизводилась в центре «звуковой картины». «Кардиоидный» микрофон *12* был подан на левый, а «восьмерочный» микрофон *9* на правый канал. Микрофон *9* воспринимал одной стороной группу виолончелей и альтов *6*, а обратной стороной левую часть духовых инструментов *4*, в то время как «кардиоидный» микрофон *12* воспринимал правую часть духовых инструментов *4*.

Таким образом, флейты, которые находились на правом фланге духовых инструментов, в воспроизводимой «звуковой картине» оказывались слева от центра и соответственно левый фланг духовых инструментов оказывался справа от центра. Такое «перемещение» исполнителей путем подключений соответствующих микрофонов к левому и правому каналам определялось желанием звукорежиссера слышать группу аккомпанирующих инструментов *3* и *7*, воспринимаемых микрофоном *8* с правого края «звуковой картины»; иное направление микрофонов *12* и *9* повело бы к заметному смещению звучания аккомпанирующей группы влево.

Высота расположения микрофонов и их отдаление от исполнителей выбирались, исходя из требований акустического разделения источников звука, акустической окраски звучания и условий совместимости.

Как видно из рис. 54, можно свободно пользоваться регуляторами уровня в цепи микрофонов *8*, *10* и *11*, так как из-за акустического разделения звучаний, воспринимаемых данными микрофонами, это не приводит к перемещению источников звука в воспроизводимой «звуковой картине». Регулировать раздельно сигналы микрофонов *9* и *12* нельзя из-за неминуемых при этом сдвигов в «звуковом изображении» группы духовых инструментов. Регулировку следует производить спаренными регуляторами.

На рис. 55 показана схема расположения исполнителей и микрофонов при записи польской песни «Мой Янек» в исполнении Ленинградского ансамбля «Дружба». Запись производилась в той же студии. Все микрофоны имели характеристики направленности в форме кардиоид.

Перед фортепиано *1*, контрабасом и гитарой *2* находился микрофон *7*, подключенный к левому каналу. Пе-

ред мужским хоровым ансамблем *3* был установлен микрофон *5*, подключенный к правому каналу. Перед певицей *4* было установлено два микрофона (*6* и *8*) на расстоянии 40 *см* друг от друга, направленных в разные стороны (под углом в 15—20° к оси симметрии); микрофон *6* был подключен к правому, а микрофон *8* к левому каналу.

Звукорежиссерский план размещения источников звука был следующий: в левой части «звуковой картины» должна находиться инструментальная группа, в правой части — хоровой ансамбль; певица должна занимать центр «звуковой картины». Как видно из рис. 55, подключение микрофона *6* к левому каналу, а микрофона *8* к правому могло бы привести к смещению хорового ансамбля влево.

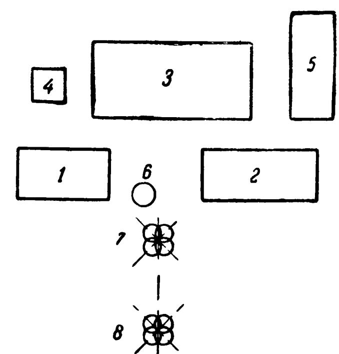


Рис. 56. Расположение исполнителей и расстановка микрофонов при записи солиста в сопровождении симфонического оркестра.
1 — скрипки; *2* — виолончели и альты; *3* — деревянные и медные духовые инструменты; *4* — ударные инструменты; *5* — контрабасы; *6* — солист; *7* — два „восьмерочных" микрофона; *8* — то же, но установленных на большем расстоянии от исполнителей.

Раздельное регулирование сигналов микрофонов *6* и *8* здесь недопустимо, микрофоны же *5* и *7* могут регулироваться раздельно лишь ограничено, из-за опасности сужения ширины «звукового изображения».

При записи по системе XY чаще всего используются две пары микрофонов со спаренной регулировкой сигналов каждой пары.

На рис. 56 показано расположение солиста-вокалиста и симфонического оркестра на концертной эстраде Большого зала Московской консерватории им. Чайковского при записи по системе XY. Размещение виолончелей и контрабасов на одной стороне эстрады, а скрипок на другой увеличивает стереоэффект в записи; в отдельных произведениях, где автором партитуры задуман дуэт или диалог первых и вторых скрипок, размещение их на разных сторонах эстрады также может дать хороший стереоэффект.

Высота расположения и угол наклона микрофонов выбираются в каждом частном случае для того, чтобы получить оптимальное соотношение в звучаниях отдельных групп инструментов. Например, при записи музыки балета «Щелкунчик» первый сдвоенный микрофон находился между вторым и третьим рядами партера на высоте 2,5 *м* над эстрадой, а второй микрофон с наклоном в 20° в сторону деревянных духовых инструментов — в пятом ряду на высоте амфитеатра.

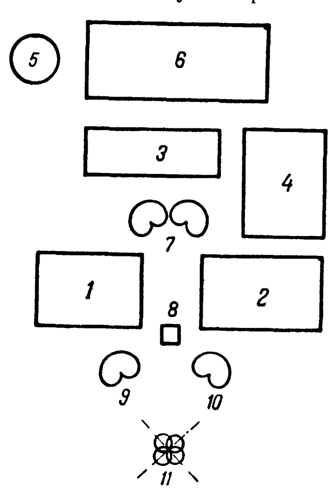


Рис. 57. Расположение исполнителей и расстановка микрофонов при записи симфонического оркестра в студии.

1—скрипки; *2* и *4*—альты, виолончели, контрабасы; *3* и *6*—медные и деревянные духовые инструменты; *5*—ударные инструменты; *7*, *9* и *10*—кардиоидные микрофоны; *8*—дирижер; *11*—„восьмерочные" микрофоны.

На рис. 57 показано расположение симфонического оркестра и расстановка микрофонов в студии объемом 4 600 *м*³. Микрофоны 7, установленные перед деревянными духовыми инструментами, укреплены на планке рядом друг с другом. Эти микрофоны обеспечивают близкий план звучания деревянных духовых инструментов и лучшее их центрирование.

Пользоваться микрофонами, расположенными внутри оркестра, следует крайне осмотрительно по следующим причинам.

1. Внутренние микрофоны могут нарушить правильную локализацию источников звука вследствие того, что на их тыловые или боковые стороны могут в значительной степени воздействовать звуковые волны, которые должны восприниматься внешними микрофонами другого канала.

2. Планы звучания музыкальных инструментов или певцов, возле которых установлены внутренние микрофоны, могут оказаться чрезмерно близкими (возможна потеря ощущения «глубины» расположения источников звука), а кажущееся расстояние между ними будет чрезмерно увеличено.

33. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Для осуществления стерофонической записи в профессиональных условиях необходима следующая аппаратура: микрофоны (в том числе сдвоенные); стереофонический микшерский усилитель (пульт); два контрольных громкоговорящих агрегата, стереофонические магнитофоны.

Вопросы, относящиеся к выбору микрофонов, были уже рассмотрены. Стереофонические микшерские усилители представляют собой как бы два электрически разделенных монофонических микшерских усилителя, объединенных общей конструкцией и общими регулировками. Обычно они обеспечивают возможность стереофонической звукопередачи по всем рассмотренным выше системам с применением не более трех пар микрофонов.

Из числа изготавливаемых отечественной промышленностью микшерских усилителей для стереофонической записи пригоден усилитель, разработанный Институтом радиовещательного приема и акустики им. А. С. Попова и усилитель типа МЭЗ-46А, разработанный Экспериментальным заводом Госкомитета по радиовещанию и телевидению при Совете Министров СССР. Усилитель МЭЗ-46А дает возможность записи только по системам АВ и XY без электрической регулировки акустической ширины и направления звука. В качестве магнитофона используется стереомагнитофон МЭЗ-41а.

Элементы микшерского усилителя (пульта). Среди элементов микшерского усилителя, кроме уже разобранного в гл. 2 регулятора акустической ширины и направления, требуют дополнительного рассмотрения только спаренные регуляторы уровня, суммарно-разностные преобразователи и индикаторы уровня.

Требования к регуляторам уровня диктуются необходимостью изменения усиления в обоих каналах одновременно. Следует применять спаренные регуляторы уровня профильного типа (как более удобные в эксплуатации) с сохранением идентичности затухания в обоих каналах в пределах 1 *дб*. Ступени регулирования на рабочих участках не должны превышать 1 *дб* во избежание слышимости скачков уровней при регулировке.

В качестве суммарно-разностных преобразователей могут быть использованы схемы трансформаторного или мостового типа на активных сопротивлениях. Для получения суммы и разности сигналов X и Y (или M и S) они подводятся к обмоткам трансформатора или к диагоналям моста так, как указано на рис. 58. В том и другом случае сплошными стрелками указано направление токов, соответствующих сигналам X, а пунктирными — соответствующих сигналам Y. Суммарные сигналы в обоих случаях снимаются с тех точек схем, между которыми токи идут в одном направлении, т. е. складываются, а разностные — с тех точек, между которыми токи идут в разных направлениях, т. е. вычитаются.

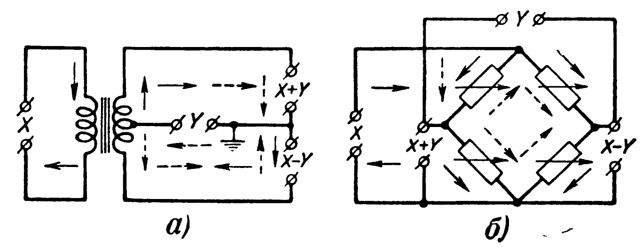


Рис. 58. Электрические схемы суммарно-разностных преобразователей.
а — трансформаторная; *б* — на активных сопротивлениях.

Электрический контроль уровней записи. Такой контроль в каждом из каналов осуществляется при помощи двух индикаторов уровня. Неудобство наблюдения за двумя приборами (стоящими рядом друг с другом) компенсируется возможностью проверки в любой момент соответствия показаний прибора со звучанием в данном канале, кроме того, серединный эффект можно проверить не только субъективно, но и объективно, сверяя впечатление от прослушивания с показаниями индикаторов уровней. Постоянная времени и баллистические данные каждого из индикаторов должны быть одинаковыми. Желательно иметь индикаторы пиковых значений.

Существуют и другие способы контроля уровней записи, например с помощью индикатора, подключаемого по желанию к одному или другому каналу, или с помощью специального индикатора уровня, показывающего наибольший уровень, имеющийся в любом из каналов.

Субъективный контроль звукозаписи. Наличие только двух громкоговорителей в помещении прослушивания ограничивает зону восприятия стереофонического эффекта двумя ветвями гиперболы, симметричной относительно перпендикуляра, восстановленного из центра базы. Лицо, контролирующее запись, размещается обычно на вершине равнобедренного треугольника, основанием которого является база (на рис. 8 база равна $2a$). Слушатели должны размещаться не ближе, чем на расстоянии, примерно равном двум базам от линии, соединяющей громкоговорители.

При стереофонической записи помещение для контроля и прослушивания выбирают порядка 20—25 *м*² со временем реверберации 0,35—0,45 *сек*. При такой реверберации помещение прослушивания не влияет на восприятие стереоэффекта в записях, произведенных, как правило, из помещений со значительно большим временем реверберации.

Громкоговорители служат основным средством субъективного контроля стереофонического звучания в процессе записи. Неверное звучание громкоговорителей из-за их неравномерной и неодинаковой частотной характеристики или вследствие различия усиления и фазовых характеристик усилителей левого и правого громкоговорителей может привести к большим искажениям и ошибкам в записи как в части передачи стереоэффекта, так и в элементарном акустическом и музыкально-фоническом отношениях. Частотные характеристики громкоговорителей по возможности должны иметь горизонтальный характер в диапазоне частот от 30—40 *гц* до 12—15 *кгц*. Громкоговорители должны быть включены синфазно. Желательно, чтобы угол направленности громкоговорителей на высоких частотах был одинаков и не слишком мал. Узкая направленность подчеркивает шум воспроизводящей системы и обращает внимание слушателей на места расположения громкоговорителей, как на отдельные точки излучения звука. При этом теряется «протяженность» звучания групп инструментов.

Выбор величины базы определяется конфигурацией, размерами и акустикой помещения прослушивания. Критерием чрезмерной величины базы является наличие скачка звука от одного громкоговорителя к другому и распадение «звуковой картины» на две части (ле-

вую и правую). При этом теряется впечатление общего объема. Величина базы может меняться от 1,5—2 до 4—4,5 *м*.

Большое значение в процессе проведения записи имеет контроль ее совместимости. Такой контроль осуществляется субъективно с помощью специальной схемы включения громкоговорителей. Эта схема, а также рассмотрение вопроса о совместимости магнитофильмов, приводятся в следующей главе.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ
СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ МАГНИТОФОНЫ

34. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА СТЕРЕОМАГНИТОФОНОВ

Для того чтобы записать звуковую информацию, передаваемую стереофонически по n раздельным каналам, принципиально достаточно к каждому из каналов подсоединить обычный (монофонический) магнитофон и тем или иным способом добиться одновременной работы всех магнитофонов как при записи, так и при воспроизведении. Однако практически такой способ стереофонической звукозаписи не применяется по двум причинам: 1) слишком сложна требуемая аппаратура (n отдельных магнитофонов); 2) трудно добиться синхронной и синфазной работы всех магнитофонов, так как из-за неизбежного различия скоростей ленты в отдельных магнитофонах и вследствие изменения длины ленты из-за растяжения и климатических воздействий звуковоспроизведения в различных каналах будут не совпадать, что вызовет очень сильные искажения.

Поэтому стереофоническую звукозапись производят иначе: на специальных магнитофонах, называемых с т е р е о м а г н и т о ф о н а м и, в которых информация всех каналов записывается на общий звуконоситель — магнитную ленту путем многодорожечной записи. Каждая дорожка содержит запись одного канала, поэтому в зависимости от числа каналов, используемых при данном виде стереофонической звукопередачи применяют две, три или большее число дорожек записи. В стереофоническом радиовещании, а также в большинстве стереомагнитофонов домашнего пользования используют двухдорожечную запись.

Электрическая блок-схема n-канального стереомагнитофона представляет собой как бы совмещение n схем одноканальных магнитофонов с усилителями записи и воспроизведения, раздельными для каждого из каналов. Общими для всех каналов являются: магнитная лента и лентопротяжный механизм; генератор для стирания и подмагничивания ленты; головка стирания и головки записи и воспроизведения.

Специфические особенности стереомагнитофона, отличающие его от обычного, монофонического, заключены в перечисленных общих узлах; на них мы остановимся подробнее. Что касается узлов, раздельных для каждого из каналов (усилители записи и воспроизведения), то они ничем не отличаются от узлов монофонического магнитофона и рассматриваться здесь не будут.

В соответствии с общим направлением книги все дальнейшее содержание данной главы будет излагаться применительно к двухканальной стереофонии, однако читателю при желании нетрудно будет сделать выводы, относящиеся и к записи большего числа стереофонических каналов, имея в виду, что принципиальные вопросы устройства стереомагнитофонов не изменяются с увеличением числа каналов.

35. НОРМЫ ДЛЯ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

Как уже упоминалось, двухканальная стерофоническая звукозапись производится на ленте шириной 6,25 *мм*. Расположение дорожек записи, нормализованное ГОСТ 8088-56, показано на рис. 59. Там же обозначено, на какую дорожку следует записывать правую (по



Рис. 59. Расположение дорожек двухканальной стереофонической звукозаписи (вид со стороны рабочего слоя ленты).

отношению к слушателю) и на какую левую часть звукового поля. Соответственно должны быть подключены и громкоговорители каналов воспроизведения. Согласно стандарту расстояние между дорожками может выбираться от 0,75 *мм* и больше, однако для того чтобы ослабить взаимное влияние каналов, его выбирают порядка 1,45 *мм*.

ГОСТ не определяет скорость ленты специально для стереофонической записи, но сложившаяся в настоящее время как у нас, так и за рубежом практика показывает, что наиболее часто для профессиональной записи используется скорость 381 *мм/сек*, а для любительской 190,5 *мм/сек*. Соответственно этим скоростям и требованиям ГОСТ 8088-56 должны выбираться качественные показатели стереомагнитофонов. Например, для каждого канала стереомагнитофона, работающего при скорости ленты 381 *мм/сек*, они должны быть те же, что и для монофонического магнитофона, работающего на той же скорости. Это относится к таким общеизвестным показателям, как частотная характеристика, величина гармонических искажений, уровень собственных шумов магнитофона и стабильность скорости ленты. Кроме этих показателей, для стереомагнитофонов определяют еще один важный качественный показатель — переходное затухание между каналами.

В стереомагнитофоне нежелательное проникание сигнала из одного канала в другой может принципиально происходить по трем путям: 1) через индуктивные и емкостные связи между усилителями разных каналов и через общий источник питания анодных цепей; 2) через индуктивные и емкостные связи между магнитными головками разных каналов; 3) через связь, существующую между дорожками на магнитной ленте.

Первый путь легко устраняется путем соответствующего расположения деталей усилителей и их экранировки, а также применением развязывающих фильтров и поэтому практически не играет роли. Связь по второму пути может оказаться в некоторых случаях значительной. Меры по ее ослаблению будут рассмотрены в следующем параграфе (при разборе конструкции стереофонических головок). Для рассмотрения связи по третьему пути (между дорожками записи) обратимся к рис. 60. Запись на верхней дорожке показана здесь услов-

но в виде полуволновых областей однонаправленного намагничивания $\lambda/2$, причем показан случай как длинных, так и коротких волн записи, что соответствует низким и высоким звуковым частотам. Запись на нижней дорожке для наглядности рисунка не показана. Как видно, при больших значениях $\lambda/2$ магнитный поток одной дорожки частично проникает по магнитному слою ленты и по воздуху в сердечник головки, воспроизводящей запись другой дорожки. Чем меньше $\lambda/2$,

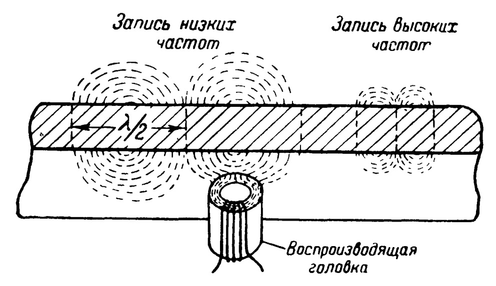


Рис. 60. Магнитная связь между дорожками записи.

тем меньше эта нежелательная связь и тем больше переходное затухание между каналами. Так как $\lambda = v/f$, где v — скорость ленты и f — частота записанного сигнала, связь между дорожками оказывается практически существенной лишь на низких частотах и она тем сильнее, чем выше скорость движения ленты. Это является одной из причин нежелательности больших скоростей для стереофонической записи; например, при скорости 762 *мм/сек* для получения удовлетворительного значения переходного затухания необходимо ограничить снизу частотный диапазон магнитофона частотой 100—150 *гц*, в то время как при скорости 190 *мм/сек* связь между дорожками во всем звуковом диапазоне становится уже практически несущественной.

Нормы на величину переходного затухания между каналами для стереомагнитофонов устанавливаются так же, как и для любой системы стереофонической звукопередачи. В диапазоне 30—200 *гц* переходное затухание должно быть не менее 20 *дб*, в диапазоне 200—9 000 *гц* — не менее 40 *дб* и на более высоких частотах — не менее 30 *дб*.

36. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ СТЕРЕОМАГНИТОФОНОВ

В стереомагнитофонах для обоих каналов записи применяют общий генератор высокой частоты (ГВЧ). Это объясняется тем, что при двух раздельных генераторах неизбежно возникали бы интерференционные помехи вследствие взаимодействия генераторов, и запись сопровождалась бы свистами.

Общий генератор питает током высокой частоты головку стирания и две головки записи. Мощность его должна быть несколько больше, чем у генератора монофонического магнитофона, поэтому предпочтительнее двухтактная схема генератора, выполненная, например, на лампе 6Н6П. Частоту генератора выбирают, как и обычно в тех случаях, когда он общий для стирания и подмагничивания, т. е. в пределах 60—80 *кгц*.

Для обеих головок записи должны предусматриваться раздельные регуляторы подмагничивания, так как из-за неизбежного различия головок один и тот же режим записи в обоих каналах будет получаться при разных токах подмагничивания. Если стереомагнитофон имеет несколько рабочих скоростей ленты, то для каждой из них в каждом канале следует предусмотреть раздельные регуляторы подмагничивания, так как оптимальная величина подмагничивания зависит от скорости ленты. Регуляторы не должны влиять друг на друга, чтобы не усложнять настройку магнитофона.

Кроме того, схема подачи в головки тока подмагничивания не должна являться путем, по которому могут проникать низкочастотные сигналы из одного канала в другой. Эти требования выполняются, если генератор имеет малое внутреннее сопротивление, а в качестве регуляторов используются подстроечные конденсаторы, обладающие достаточно большим сопротивлением для токов низкой частоты.

На рис. 61 показана схема подачи подмагничивания в двухканальном двухскоростном стереомагнитофоне. Чтобы уменьшить внутреннее сопротивление генератора высокой частоты (ГВЧ), последний следует делать достаточно мощным. Надо также уменьшать рассеяние магнитного потока в контурных катушках путем применения ферритовых сердечников, а также по возможности сближая между собой витки и сокращая их количество.

Остальные схемные вопросы генератора решаются, как и в монофоническом магнитофоне.

Устанавливая величину тока подмагничивания в стереомагнитофоне, следует учитывать особенность его работы, связанную с использованием узких дорожек записи. Чем у́же дорожка, тем бо́льший шум магнитной ленты прослушивается в записи. Это объясняется следующим: при неизменной намагниченности ленты полезный магнитный поток, исходящий из нее и определяющий силу записанного сигнала, будет тем больше, чем

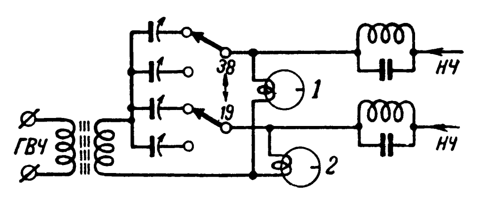


Рис. 61. Схема подачи подмагничивания в двухканальном стереомагнитофоне.
1 — верхняя головка записи; *2* — нижняя головка записи.

шире звуковая дорожка. Исходя из этого, можно считать, что сигнал пропорционален ширине звуковой дорожки b. Что же касается собственного шума магнитной ленты, то он обусловлен такими случайными причинами, как неоднородность магнитных свойств отдельных частиц магнитного порошка, неодинаковая концентрация его в рабочем слое и рядом других причин. Эти случайные причины подчиняются статистическим законам и элементарные помехи, вызванные каждой причиной в отдельности, складываются в отличие от полезного сигнала не арифметически, а геометрически. Поэтому для собственного шума ленты можно считать, что он пропорционален $\sqrt{b}$. Сопоставляя эту пропорцию с предыдущей, получаем: сигнал/шум $\sim\sqrt{b}$, что подтверждает сказанное выше.

Относительное снижение шума ленты при увеличении ширины звуковой дорожки физически нетрудно объяснить тем, что в более широкой фонограмме отдельные неоднородности ленты усредняются и не проявляют себя в виде помех. Так как в стереомагнитофонах (как и вообще в магнитофонах) благодаря использованию

высокочастотного режима записи намагниченность ленты в паузах полезного сигнала практически отсутствует, повышенный шум ленты проявляется главным образом в форме модуляционного шума, т. е. шума, сопутствующего записи полезного сигнала. Борьба с модуляционным шумом является до сих пор большой проблемой магнитной записи, а в стереомагнитофонах она, кроме того, затрудняется тем, что дорожки записи узкие.

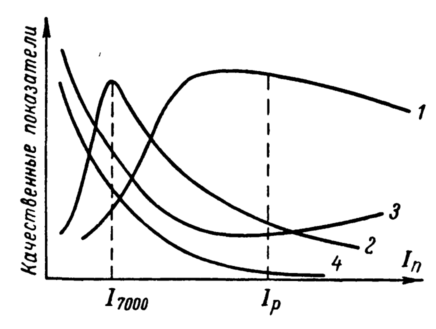


Рис. 62. Зависимость качественных показателей записи от величины подмагничивания.

1 — отдача при частоте сигнала 400 *гц*; *2* — то же при 7 000 *гц*; *3* — коэффициент нелинейных искажений; *4* — уровень модуляционных шумов.

В настоящее время существует два способа, если не устранения, то по крайней мере ослабления модуляционных шумов. Первый из них — применение более сильного, чем обычно, подмагничивания ленты. Это и используется в стереомагнитофонах.

На рис. 62 показано, как изменяется модуляционный шум с изменением тока подмагничивания $I_п$: чем больше ток, тем меньше шум. Но одновременно с увеличением тока подмагничивания резко падает уровень записи на высоких звуковых частотах, т. е. ухудшается частотная характеристика и увеличиваются нелинейные искажения. Поэтому окончательно ток подмагничивания устанавливается компромиссным путем. Величина его зависит от типа ленты, скорости ее движения и от данных головки записи.

Чтобы каждый раз при смене ленты или головки записи не надо было снимать характеристики, подобные изображенным на рис. 62, и по ним выбирать ток подмагничивания, используют следующий, практически удобный способ. Выбрав режим подмагничивания в данном аппарате первый раз, определяют, во сколько раз рабочий ток подмагничивания $I_р$ больше тока, при котором достигается максимальный уровень записи на достаточно высокой частоте (обычно 7 или 8 *кгц*). Ве-

личина последнего может быть определена довольно точно ввиду остроты кривой зависимости уровня записи высокой частоты от режима подмагничивания. Таким образом, получают соотношение: $I_р = KI_{7\,000}$, где K — коэффициент, постоянный для данного аппарата. Например, для ленты типа 2 и скорости 381 *мм/сек* K находится в пределах 1,8—2,2.

Зная величину K, нетрудно при последующих регулировках установить правильный режим подмагничивания: подбирают сначала оптимальный режим подмагничивания для записи частоты 7 000 *гц*, измеряют величину тока или напряжения подмагничивания и увеличивают его в K раз. Такой способ задания режима подмагничивания и его регулировки является наиболее точным.

Второй способ ослабления модуляционных шумов состоит в применении так называемого антишумового ролика. В качестве него можно использовать шарикоподшипник диаметром 15 *мм*, укрепленный вблизи головки записи так, что наружной обоймой он слегка касается магнитной ленты и при движении последней вращается. Антишумовой ролик гасит продольные колебания ленты, могущие возникнуть от трения ее о головки и вызывающие, так же как и неоднородности ленты, модуляционные шумы. Кроме того, модуляционные шумы зависят от типа ленты (у одних лент они больше, у других меньше). Лучшей в этом отношении лентой отечественного производства является лента типа 6.

Перейдем к вопросу о магнитных головках в стереомагнитофоне. Несколько лет назад в первых стереомагнитофонах применяли по две записывающих и по две воспроизводящих головки, размещая их попарно с одинаковым сдвигом как по вертикали, так и в направлении движения ленты. Однако такой способ, кроме конструктивных неудобств, вызывал большое усложнение монтажа: ленту надо было разрезать не по прямой линии, как в обычном монофоническом магнитофоне, а по ломаной. Поэтому от применения парных головок отказались и стали использовать специальные стереофонические головки, у которых рабочие щели для обоих дорожек записи располагаются на одной прямой.

Одна из конструкций такой головки показана на рис. 63. Чтобы уменьшить нежелательную индуктивную связь между обмотками обоих сердечников головки, на-

ходящихся к тому же достаточно близко друг от друга, между ними располагают магнитный экран из одной или нескольких пермаллоевых пластин. Такой экран вместе с тем ослабляет и емкостные связи между обмотками.

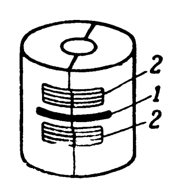


Рис. 63. Стереофоническая магнитная головка.
1 — экран;
2 — сердечник.

Так как магнитная связь между сердечниками возникает главным образом в местах переднего и заднего зазоров, где магнитный поток больше всего рассеивается, можно обойтись без сплошного магнитного экрана, ограничиваясь лишь небольшими вставками между сердечниками в указанных опасных местах. Это однако не устраняет необходимость дополнительного экранирования от действия электрического поля.

Иногда для ослабления емкостных и индуктивных связей за счет рассеяния потока из заднего зазора сердечники изгибают так, как показано на рис. 64. Это, кроме того, позволяет разместить в каждой обмотке больше витков, чем при параллельных сердечниках, что важно для изготовления высокоомных головок.

Сердечники головок располагаются по высоте симметрично относительно осевой линии ленты. Ширина сердечника головки записи, определяющая собой ширину звуковой дорожки на ленте, выбирается в пределах 2,3—2,4 *мм*. При этом свободное поле между дорожками имеет ширину 1,45—1,65 *мм*. Сердечники воспроизводящей головки делают на 0,2 *мм* у́же, чем у записывающей, для того чтобы ослабить колебания уровня воспроизводимого сигнала из-за неизбежных перемещений ленты вверх и вниз во время ее движения.

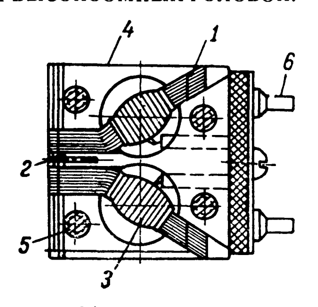


Рис. 64. Стереофоническая магнитная головка (поперечный разрез).
1 — сердечник; 2 — экран; 3 — обмотка; 4 — корпус; 5 — отверстия для стяжных винтов; 6 — выводы обмоток.

При изготовлении стереофонических головок следует особое внимание обращать на точное выполнение ширины сердечников и расстояния между ними. Небольшие отклонения в этих размерах могут сильно снизить переходное затухание между каналами (по ленте) и приве-

сти к неодинаковой намагниченности ленты на верхней и нижней дорожках. Рабочая поверхность головок должна быть отшлифована до зеркального блеска и иметь прямолинейную образующую с тем, чтобы лента хорошо и везде прилегала к ней. Сказанное в равной степени относится как к записывающей, так и к воспроизводящей стереофоническим головкам.

Стирающая головка в стереомагнитофоне обычная. Обе дорожки записи стираются одновременно.

В заключение следует отметить еще особенность лентопротяжного механизма стереомагнитофона: движение ленты в нем должно производиться на неизменной высоте над платой. Перемещения ленты вверх и вниз необходимо максимально ограничить с помощью направляющих, так как такие перемещения ведут к тем же последствиям, что и неточности в размерах сердечников головок.

37. СОВМЕСТИМОСТЬ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ И МОНОФОНИЧЕСКИХ МАГНИТОФИЛЬМОВ

Стереофоническое радиовещание осуществляется путем воспроизведения стереофонических магнитофильмов. Казалось бы, для этого в радиодомах надо создавать наряду со старыми, существующими много лет фонотеками монофонических магнитофильмов новые фонотеки стереофонических магнитофильмов, а каждую новую запись делать в двух вариантах: монофоническом (так как монофоническое радиовещание будет существовать по-прежнему) и стереофоническом. Однако необходимость в таком усложнении отпадает, так как при определенных условиях стереофонические магнитофильмы обладают свойством совместимости. Это понятие нам уже знакомо из предыдущих глав применительно к системам стереофонического радиовещания. Для магнитофильмов оно может быть уточнено так: *совместимостью стереофонического магнитофильма называется его способность при воспроизведении на обычном монофоническом магнитофоне обеспечивать нормальное монофоническое звучание.*

Совместимость является весьма важным свойством, так как при ее достижении новые записи достаточно осуществлять лишь в одном варианте — стереофоническом. Рассмотрим условия получения совместимости.

При воспроизведении на монофоническом магнитофоне обе дорожки записи стереофонического магнитофильма будут «читаться» общей широкой воспроизводящей головкой. Магнитные потоки, а следовательно, и сигналы, соответствующие обоим дорожкам, будут складываться. Чтобы получить в результате нормальное монофоническое воспроизведение, необходимо, чтобы *одна дорожка содержала информацию о правой части звукового поля, а другая — о левой.* Тогда сумма сигналов будет давать информацию о поле в целом. Это является первым условием совместимости. Ему удовлетворяют рассмотренные системы стереофонической звукопередачи AB, XY и MS. Что касается систем A+B/A—B и X+Y/X—Y, то они не обеспечивают совместимости, так как сумма сигналов обеих дорожек дает информацию либо об одной правой, либо об одной левой стороне звукового поля (под A+B/A—B и X+Y/X—Y понимаются системы, при которых в канале записи произведено только одно суммарно-разностное преобразование, а второе предполагается осуществлять при воспроизведении).

Второе условие совместимости состоит в равенстве скоростей ленты, при которых записываются монофонические и стереофонические магнитофильмы. Первые из них все больше и больше записываются в радиодомах при скорости 381 *мм/сек.* Эта же скорость принята поэтому в качестве основной и для записи стереофонических магнитофильмов, используемых в радиовещании, чем и выполняется второе условие совместимости.

Третье условие заключается в том, чтобы при монофоническом воспроизведении стереофонического магнитофильма уровень записи не отличался бы намного от уровня записи монофонического магнитофильма. Известно, что в последних максимальная величина уровня записи соответствует эффективному значению остаточного магнитного потока ленты 160 *ммкс.* Если установить половину этой величины (80 *ммкс*) в качестве нормы для каждой дорожки стереофонического магнитофильма, то, очевидно, и третье условие совместимости будет выполнено. Правда, при этом мы допускаем несколько бóльшую удельную намагниченность ленты. Если в монофоническом магнитофильме она соответствовала величине магнитного потока на 1 *мм* ширины ленты, равному

160/6,25≈25 *ммкс/мм*, то в стереофоническом магнитофильме при ширине звуковой дорожки 2,4 *мм* эта величина будет 80/2,4≈33 *ммкс/мм*, т. е. в 1,3 раза больше. Однако на это приходится идти, чтобы достичь совместимости (практически из-за несовпадения моментов достижения максимального уровня записи на обеих дорожках намагниченность в стереофонических магнитофильмах приходится выбирать в 1,58 раз больше, чем в монофонических). Увеличение намагниченности выгодно еще и тем, что повышается отношение сигнал/шум в за-

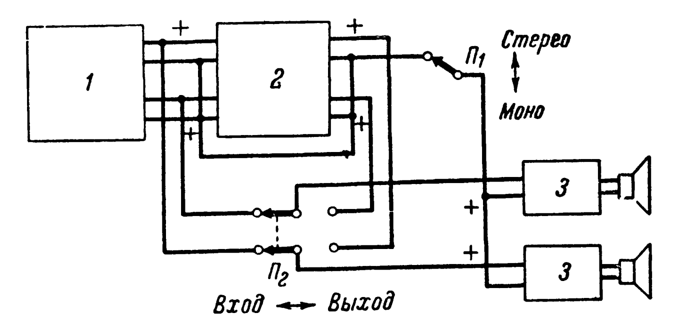


Рис. 65. Схема переключения для стереофонического и монофонического прослушивания.

1—стереофонический микшерский усилитель; *2*—стереомагнитофон; *3*—контрольные громкоговорящие агрегаты.

писи. Что же касается неизбежного при этом возрастания нелинейных искажений, то при использовании для стереофонических записей ленты типа 6 уровень их оказывается все же не превосходящим 3%.

Отсюда видно, что условия совместимости выполняются довольно просто и поэтому с началом стереофонического радиовещания многие художественные записи в радиодомах целесообразно производить только как стереофонические, так как они одинаково будут пригодны и для монофонического воспроизведения.

При проведении стереофонической записи необходимо осуществлять субъективный контроль совместимости. Для этого используется схема включения контрольных громкоговорящих агрегатов, показанная на рис. 65. Переключатель $П_2$ в этой схеме позволяет вести сопоставительный слуховой контроль на входе и выходе стереомагнитофона так, как это принято обычно при записи.

Если переключатель $П_1$ замкнут, то, как видно из схемы, контрольные агрегаты подсоединены соответственно к первому и второму каналам, при этом происходит нормальное стереофоническое прослушивание. Если же переключатель $П_1$ разомкнут, то оба контрольных агрегата оказываются включенными последовательно и к ним подводится сумма напряжений обоих каналов. В этом случае производится монофоническое прослушивание той же «звуковой программы». Если не замечается каких-либо дефектов звучания, то это говорит о достижении совместимости в записи. При этом необходимо еще обратить внимание на то, чтобы при монофоническом прослушивании соотношение в звучаниях отдельных инструментов или голосов исполнителей соответствовало художественному замыслу записи.

Вопрос о совместимости стереофонических и монофонических магнитофильмов применительно к аппаратуре домашнего пользования решается иначе, чем для радиовещания. В монофонических магнитофонах для домашнего пользования установлены узкие магнитные головки, которые при воспроизведении стереофонического магнитофильма будут «читать» только одну дорожку. Чтобы получить при этом нормальное монофоническое звучание, необходимо на эту дорожку записать суммарную информацию о всем звуковом поле, для чего надо использовать системы записи, противоположные тем, которые обеспечивали совместимость радиовещательных стереофонических магнитофильмов, т. е. A+B/A—B, X+Y/X—Y и MS без суммарно-разностного преобразования. Это требует в свою очередь при воспроизведении таких стереофонических магнитофильмов наличия в стереомагнитофоне суммирующего и вычитающего устройства для раздельного получения правого и левого каналов, что является нежелательным усложнением в аппаратуре для домашнего пользования, стоимость которой всегда стремятся снизить.

Таким образом, проблема совместимости не решается здесь так просто. Однако для домашнего применения наличие совместимости не столь уже и обязательно. Вряд ли владелец монофонического магнитофона будет приобретать стереофонические магнитофильмы и будет стремиться слушать их монофонически. Поэтому домашние стереомагнитофоны рассчитываются на магнито-

фильмы, записанные так же, как и радиовещательные, т. е. содержащие на одной дорожке запись правой, а на другой — левой части звукового поля (см. рис. 59).

Домашние стереомагнитофоны обеспечивают, кроме того, воспроизведение монофонических двухдорожечных магнитофильмов. Путем коммутации оба канала воспроизведения подключаются при этом к одной головке и записи обеих дорожек воспроизводятся поочередно.

38. ИСПЫТАНИЯ И РЕГУЛИРОВКА СТЕРЕОМАГНИТОФОНОВ

Испытания и регулировка стереомагнитофонов во многом похожи на испытания и регулировку монофонических магнитофонов. В каждом из двух каналов обычным способом проверяют частотные характеристики воспроизведения и сквозного канала, величину нелинейных искажений, отношение максимальный сигнал/шум. Показатели, относящиеся к стабильности движения ленты (средняя скорость, детонация), определяются естественно только для одного из каналов. Ввиду вышеуказанного сходства мы остановимся далее только на том, что отличает испытания и настройку стереомагнитофонов.

Усиление канала воспроизведения. Установка правильной величины усиления в каждом из двух каналов воспроизведения осуществляется с помощью первой части контрольной ленты для соответствующей рабочей скорости ленты (РТ-38У, РТ-19У), при этом следует учитывать необходимость более сильного намагничивания ленты в стереомагнитофонах, вытекающую из условий совместимости. Поэтому при воспроизведении контрольной ленты, содержащей, как известно, запись с уровнем, равным половине максимального, следует так установить усиление канала воспроизведения, чтобы выходное напряжение составляло не 50, а только 31% от максимальной величины.

Настройка индикатора уровня, которая производится одновременно с этим, зависит от того, к какому типу он относится. Если постоянная времени индикатора $\tau=10$ *мсек* (пиковый индикатор), то он должен показать при этом также 31% всей шкалы (или —10 *дб*). Если $\tau=60\div80$ *мсек* (такое значение τ имеют индикаторы РИ-55 и РИ-58), то индикатор при воспроизведении

контрольной ленты должен отклониться на 62% всей шкалы (или —4 *дб*). Индикаторы уровня средних значений применять не рекомендуется из-за малой точности их показаний.

Частотная характеристика канала воспроизведения. Проверка и регулировка частотной характеристики производится по тем же контрольным лентам, по которым проверяются и характеристики монофонических магнитофонов. Запись отдельных частот на этих лентах произведена, как известно, по всей ширине ленты, в связи с чем при проверке стереомагнитофонов возникают следующие осложнения.

В некоторых экземплярах контрольных лент намагниченность неодинакова по ширине. При испытаниях стереомагнитофона такой контрольной лентой она покажет различные частотные характеристики при воспроизведении одного и другого ее краев. Если эта разность превышает на какой-либо из частот 1,5 *дб*, то контрольную ленту следует заменить.

Второе осложнение связано с тем, что на низких частотах (при значительных длинах волн записи) узкий сердечник стереофонической воспроизводящей головки «читает» не только прилегающую к нему дорожку записи, но и смежные области контрольной ленты, улавливая их магнитный поток. Это приводит к тому, что частотная характеристика воспроизведения приобретает псевдоподъем на низких частотах, которого фактически нет и не было бы, если бы для испытаний стереомагнитофонов применялась контрольная лента с двумя дорожками записи вместо одной сплошной.

Так как данное явление связано с длиной волны, то оно проявляется только на самых низких частотах и главным образом при больших скоростях ленты. Так, например, на частоте 30 *гц* при скорости 381 *мм/сек* псевдоподъем составляет примерно 2 *дб*, при скорости 190,5 *мм/сек* — около 1 *дб*; на меньших скоростях это явление не обнаруживается. Из полученных при измерениях результатов следует исключить указанные величины псевдоподъема.

При измерениях частотных характеристик «сквозных» каналов псевдоподъем низких частот не обнаруживается, так как в этом случае воспроизводится не широкая, а узкая дорожка записи.

Переходное затухание. Измерение переходного затухания производится следующим образом. В одном из каналов записывают синусоидальный сигнал с максимальным уровнем. Вход другого канала при этом отключают и замыкают на сопротивление, равное нормальному сопротивлению низкочастотного источника, на который он рассчитан. После окончания записи ленту перематывают и воспроизводят запись, при этом измеряют выходные напряжения первого (U_1) и второго (U_2) каналов.

Чтобы исключить ошибку из-за мешающего действия собственных шумов в каналах, измерения производят ламповым вольтметром через фильтр, пропускающий только ту частоту, на которой ведут измерения. Величина переходного затухания подсчитывается по формуле

$$\beta = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}.$$

Измерения проводят на нескольких частотах рабочего диапазона стереомагнитофона. Затухание сигнала измеряют при переходе из первого канала во второй и обратно.

Положение рабочих щелей магнитных головок. Правильное положение рабочей щели воспроизводящей стереофонической головки определяют и устанавливают, как и для монофонической головки, по контрольной ленте, содержащей запись достаточно высокой частоты. Однако в отличие от монофонической головки настройка положения стереофонической головки весьма тупа (из-за того, что ее сердечник значительно у́же) и небольшой перекос головки не вызывает уменьшения отдачи на высоких частотах. Но этот перекос может привести к тому, что в отрегулированном стереомагнитофоне щели верхней и нижней головок будут сдвинуты в направлении движения ленты на величину Δ. При воспроизведении стереофонических магнитофильмов это вызывает дополнительный сдвиг по времени между звучаниями обоих каналов, но сдвиг настолько незначительный, что не ощущается на слух.

Действительно, пусть $\Delta = 10$ *мк* (величина заведомо преувеличенная). При скорости движения ленты 381 *мм/сек* величина $\Delta t = 10/381 \cdot 10^3 \approx 26$ *мксек*. Имея в виду, что скорость распространения звука в среднем

составляет 350 *м/сек*, вычисленный сдвиг по времени соответствует дополнительному сдвигу в пространстве микрофона или громкоговорителя в одном из каналов всего лишь на $350 \cdot 10^3 \cdot 26 \cdot 10^{-6} \approx 9$ *мм*.

Значительно опаснее сдвиг щелей, если на стереомагнитофоне предполагается воспроизводить монофонические магнитофильмы и при этом складывать напряжения на выходах обоих каналов. Стереофоническая головка, у которой величина сдвига равна Δ, ведет себя в этом случае как монофоническая с шириной щели, увеличенной на Δ. Такая головка, если Δ не очень мала, будет иметь неудовлетворительную частотную характеристику.

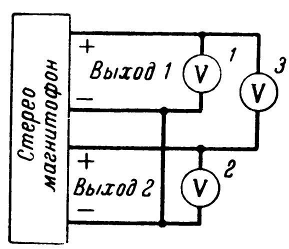


Рис. 66. Схема включения трех вольтметров при настройке положения стереофонической воспроизводящей головки.

Чтобы устранить это, оба выхода стереомагнитофона включаются навстречу друг другу по схеме, приведенной на рис. 66. Вольтметры *1* и *2* измеряют здесь выходные напряжения каналов в отдельности, а вольтметр *3* измеряет разность этих напряжений. Для проверки правильности включения схемы воспроизводят контрольную ленту с записью достаточно низкой частоты (не превышающей 400 *гц*), при которой наклон рабочих щелей практически не влияет на отдачу головок, и уравнивают (если требуется) регуляторами усиления каналов показания вольтметров *1* и *2*. Вольтметр *3* должен показывать при этом напряжение, во много раз меньшее. Если выходы соединены неверно, то вольтметр *3* покажет вместо разности сумму напряжений.

Проверив схему, воспроизводят участки контрольной ленты, содержащие запись все более и более высоких частот (6 000, 8 000, 10 000, 12 000, 15 000 *гц*). Регулируя наклон щелей головки, добиваются такого их положения, при котором показания вольтметров *1* и *2* получаются максимальными (что свидетельствует о достаточно точно установленной перпендикулярности щелей), а показания вольтметра *3* минимальными, что говорит о незначительности сдвига щелей. Регулировку надо обязательно производить, начиная с более низких и за-

канчивая высокими частотами, при этом острота настройки положения щели возрастает постепенно и нет опасности сместить щели при регулировке на расстояние, равное длине волны записи, когда разность выходных напряжений каналов будет так же минимальна, как и при отсутствии сдвига щелей.

Все сказанное относится только к настройке воспроизводящей стереофонической головки. Настройка положения рабочих щелей записывающей головки производится, как обычно, в процессе записи высокой частоты по максимуму выходных напряжений обоих каналов. Сдвиг щелей у записывающей головки не имеет существенного значения.

Определение и фазировка каналов. Зачастую, особенно при первом включении стереомагнитофона, допускаются ошибки в определении правого и левого каналов. Чтобы избежать их, после изготовления аппарата, а также при каждой смене головок, следует производить проверку на соответствие требованиям ГОСТ. Для проверки каналов воспроизведения наиболее удобно пользоваться специальной контрольной лентой, содержащей музыкальные записи сначала только в одном, потом в другом каналах. Речевые пояснения, предшествующие этим записям, позволяют при прослушивании легко определить, какой выход стереомагнитофона является правым, а какой левым каналом.

При отсутствии контрольной ленты можно произвести проверку, аккуратно дотрагиваясь небольшой стальной отверткой до верхнего и нижнего сердечников воспроизводящей головки. Руководствуясь стандартизованным расположением дорожек (рис. 59), по характерным щелчкам, прослушиваемым при этом, нетрудно определить правый и левый каналы воспроизведения. Головки после проверки таким способом надо обязательно размагнитить.

Различать каналы записи, после того как определены каналы воспроизведения, уже несложно: подключая источник низкой частоты сначала к одному, потом к другому входу, определяют их принадлежность к правому или левому каналу по тому, в каком из каналов воспроизведения прослушивается записываемый сигнал.

Фазировка стереомагнитофона начинается также с каналов воспроизведения. Если предварительно уже

поднастраивалось положение рабочих щелей воспроизводящей головки, то фазы выходных напряжений каналов фактически известны (обозначены знаками полярности на рис. 66). Если же такая подстройка не производилась, то, пользуясь ее методикой, можно определить фазы выходных напряжений при воспроизведении контрольной ленты с записью низкой частоты. Если взаимное распределение фаз не соответствует принятому для данного стереомагнитофона и обозначенному на его принципиальной электрической схеме, то следует поменять местами провода, идущие к верхней или нижней половинам воспроизводящей головки.

Для фазировки каналов записи входы стереомагнитофона соединяют параллельно с соблюдением полярности, обозначенной на принципиальной схеме, и подключают к звуковому генератору, затем производят запись частоты порядка 200—400 *гц* и при воспроизведении ее определяют сохранение правильности фазировки каналов воспроизведения. Если фазировка неверна, то меняют местами провода, подходящие к одной из половин головки записи.

Фазировку следует проверять при первом подключении стереомагнитофона и каждый раз после смены в нем головок.

39. СТЕРЕОМАГНИТОФОНЫ ДЛЯ ДОМАШНЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Стереомагнитофоны, рассчитанные на применение в домашних условиях, как правило, имеют стереофоническое воспроизведение и только монофоническую запись, так как стереофоническая запись в домашних условиях пока еще не применяется. Кроме того, они позволяют воспроизводить обычные монофонические двухдорожечные магнитофильмы.

Для выполнения перечисленных функций стереомагнитофоны строятся по блок-схеме, приведенной на рис. 67*. Головки стирания *ГС* и записи *ГЗ* однодорожечные с узкими сердечниками (такие же, как и в монофонических магнитофонах домашнего пользования),

* Если стереомагнитофон предполагается использовать и для проведения стереофонических записей (например, записей стереофонических радиопередач), то блок-схема должна быть дополнена еще одним каналом записи. Раздельные УВ и УЗ могут быть заменены универсальными усилителями с соответствующей коммутацией.

головка же воспроизведения *ГВ* стереофоническая. В нижнем (по схеме) положении переключателя $П_1$ оба оконечных усилителя подключаются к левому каналу воспроизведения. В этом случае можно воспроизводить двухдорожечные монофонические магнитофильмы и собственные записи, осуществляемые на данном аппарате.

Так как стереофоническое воспроизведение требует разнесения громкоговорителей обоих каналов на рас-

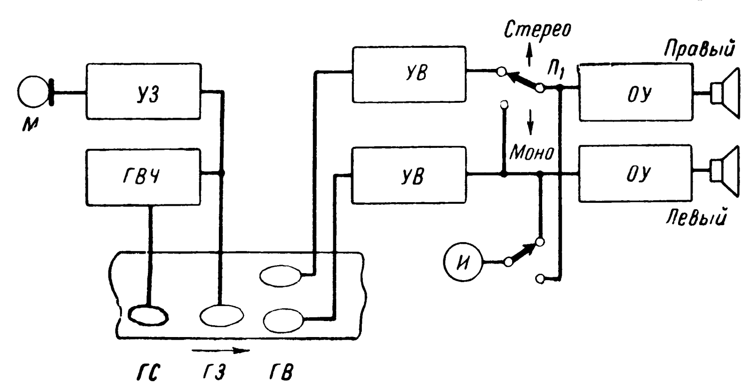


Рис. 67. Блок-схема стереомагнитофона для домашнего пользования.
УЗ — усилитель записи; *УВ* — усилитель воспроизведения; *ГВЧ* — генератор высокой частоты; *И* — индикатор уровня; *ОУ* — оконечный усилитель; *М* — микрофон; *ГС* — головка стирания; *ГЗ* — головка записи; *ГВ* — головка воспроизведения.

стояние не менее 1,5—2 *м*, оба они или по крайней мере один из них выносится в отдельный от магнитофона ящик. В более редких случаях в двух отдельных деревянных ящиках размещаются не только громкоговорители, но и оконечные усилители. Для улучшения качества звучания вместо одного громкоговорителя в каждом из каналов могут применяться агрегаты из двух или трех громкоговорителей. Наиболее удачное взаимное расположение громкоговорителей правого и левого каналов подбирается практически. Оно зависит от размеров комнаты, а также числа слушателей и размещения мебели. Очень удобно при подборе пользоваться такими музыкальными стереофоническими магнитофильмами, при воспроизведении которых расположение отдельных инструментов выявляется достаточно четко.

Электрические схемы отдельных усилителей, выпрямителя и генератора в стереомагнитофонах для домаш-

него пользования не отличаются от таких же схем в монофонических магнитофонах. Некоторую специфику имеет лишь установка и регулировка усиления в каналах воспроизведения. В усилителях воспроизведения оно устанавливается по контрольной ленте и индикатору уровня сначала для одного, а потом для другого канала. Регулировка громкости при воспроизведении осуществляется одновременно в обоих каналх сдвоенными регуляторами усиления в оконечных усилителях.

В оконечных усилителях, кроме регуляторов громкости, должны предусматриваться еще и установочные регуляторы усиления, с помощью которых компенсируются неизбежные различия в коэффициентах усиления обоих усилителей и главное — различия в чувствительностях громкоговорителей правого и левого каналов. Эта регулировка, а также фазировка громкоговорителей производятся в следующем порядке.

После того как усиление усилителей воспроизведения установлено, снова воспроизводят контрольную ленту с записью частоты 400 *гц*, при этом поочередно включают то один, то другой громкоговоритель и на слух уравнивают громкости их звучания с помощью установочных регуляторов в оконечных усилителях. Вслед за этим включают оба громкоговорителя. Если громкость при этом получается заметно больше, чем при одном громкоговорителе, то фазировка произведена правильно. В противном случае меняют местами концы проводов, подходящих к громкоговорителю одного из каналов.

В некоторых случаях в схему оконечных усилителей вводят еще балансный регулятор. Тогда описанная выше регулировка производится в среднем положении балансного регулятора. Это положение особо отмечают на шкале, расположенной около ручки регулятора с тем, чтобы к нему можно было легко возвратиться. Поворачивая ручку балансного регулятора при воспроизведении вправо или влево от среднего положения, можно произвольно нарушать равенство усилений в каналах воспроизведения, давая преимущество либо правому, либо левому каналу. Это позволяет по вкусу слушателя изменять пространственную картину звукового поля или подчеркивать в отдельные моменты времени локальность звука.

Стремление повысить эксплуатационные удобства

стереомагнитофонов для домашнего пользования и приблизить стоимость стереофонических магнитофильмов к стоимости стереофонических грампластинок привело в последнее время к разработке четырехдорожечных магнитофонов, у которых на ленте нормальной ширины (6,25 *мм*) размещаются четыре звуковых дорожки (рис. 68). При движении ленты в одном направлении

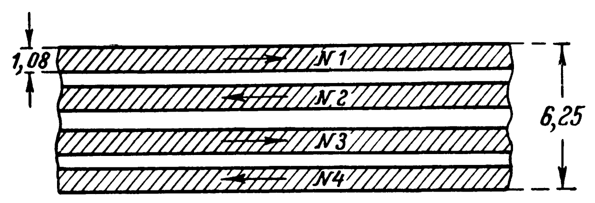


Рис. 68. Расположение дорожек при четырехдорожечной записи.

стереофонически записываются (и воспроизводятся) дорожки *1* и *3*; в конце лента переворачивается, кассеты с лентой меняются местами и тогда записываются дорожки *2* и *4*. Таким способом достигается удвоение продолжительности звучания магнитофильма.

Так как сердечники головок, применяемых в этих магнитофонах, расположены друг относительно друга достаточно далеко (через дорожку записи), переходное затухание в головках вполне достаточно для стереофонии. Что же касается связи между соседними дорожками записи, то ввиду их сближения приходится снижать скорость движения ленты до 9,5 *см/сек*, чтобы эта связь не оказалась чрезмерной.

Стереомагнитофоны с четырехдорожечной записью, так же как и стереомагнитофоны с двухдорожечной записью, допускают воспроизведение монофонических двухдорожечных магнитофильмов. Единственное различие заключается в том, что ввиду очень малой ширины сердечника воспроизводящей головки при четырехдорожечной записи, она «читает» только половину монофонической звуковой дорожки.

6Ф2.1+6Ф2.2 *Гаклин Давид Исаевич, Кононович Лев Миронович,*
Г15 *Корольков Вадим Георгиевич*

Стереофоническое радиовещание и звукозапись, М.—Л., Госэнергоиздат, 1962. 128 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 436).

6Ф2.1+6Ф2.2

* * *

Редактор *А. И. Кузьминов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 21/XI 1961 г. Подписано к печати 8/III 1962 г.
Формат бумаги 84×108¹/₃₂ 6,56 п. л. 6,8 уч.-изд. л.
Т-00176 Тираж 50 000 экз. Цена 27 коп. Зак. 661

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Цена 27 коп.